БИБЛИОТЕКА МОСКПРОФОБРА

Д-р Ник. БЕРНШТЕЙН

БИОМЕХАНИКА
ДЛЯ ИНСТРУКТОРОВ

(Лекция на курсах инструкторов Промышленного Экономическ. Отд. Москпрофобра)

„НОВАЯ МОСКВА“
1926

Отпечатано в 5-й типо-литографии „Мосполиграф“, Мыльников пер., 14, в количестве 5.000 экземпляров.
Мосгублит № 10410.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий курс составился из лекций, читанных мною в июле—августе 1925 года на курсах по переподготовке инструкторов производственного обучения Москпрофобра. Он представляет собою переработку стенограмм подлинного курса, но переработку настолько основательную, что в ней не оставлено дословно почти ни одного отрывка. Живая речь перед аудиторией всегда резко отличается от тех форм, какие мы привыкли видеть в печати: она поневоле отрывочна, мимолетна, не всегда строго распланирована. Выражения интереса, недоумения, вопроса на лицах слушателей, которые невидимы для читающего стенограмму, постоянно влияют на лектора, заставляя его отклоняться, уточнять свои выражения и пояснять малопонятные места.

Тем не менее мне была дорога самая форма живой речи; я остаюсь при убеждении, что такое повествование возбуждает самодеятельность читателя и заставляет его активно следить за развертывающейся цепью мыслей. Я бережно сохранил все вопросы, примечания, даже ошибки моих слушателей, так как они естественны и обычны, и читатель, вероятно, не раз поставит себя самого на место моих собеседников по аудитории.

Только летом этого года мною был закончен первый том большого руководства по биомеханике, под названием «Общая биомеханика», выходящий ныне в издании Р. И. О. ВЦСПС. Естественно, что многие отделы только что написанной книги должны были, хотя и в сильно измененном виде, войти и в читаемый курс и в настоящую переработку его. Следует, однако, спросить, стоило ли при этих условиях издавать предлагаемый краткий курс, и не представляет ли он собою повторения того, что уже раз сказано в другом месте?

Нет, это отнюдь не повторение. Начать с того, что при всем моем старании сделать книгу «Общая биомеханика» легко

доступной, она все же не легка для усвоения молодежи, владеющей познаниями в об'еме курса 1-й ступени. Поскольку она является первым на русском языке руководством по этому предмету, она обязана быть обстоятельной, и потому я не мог уберечь ее ни от латинских названий, ни от математических выражений. То общее по содержанию, что есть в настоящем курсе с упомянутой книгой, есть сильно популяризированный и сокращенный пересказ, который, я думаю, может быть в этой форме доступен для любого профшкольца и фабзавучника.

Второе и главное оправдание этого курса в том, что он и по плану, и по содержанию не менее отличается от книги, нежели по характеру изложения. Две лекции курса посвящены введению в методику изучения движений и краткой истории этого изучения, что никак не затронуто в «Общей биомеханике». Последняя лекция посвящена разбору одного из типичных трудовых движений—работы молотком, что опять-таки в популярном виде опубликовывается мною впервые.

Я не пытался придать настоящему курсу сугубо-прикладного характера и сделать его чем-то вроде сборника рецептов. Он прикладной лишь постольку, поскольку пытается дать краткий систематический разбор человеческой машины и ее возможностей; его задача—приучить читателя мыслить по отношению к ученику — фабзавучнику и профшкольцу — механически, так, как он мыслит по отношению к станку. Если эта задача хоть на малую долю выполнена, прикладная цель курса осуществлена.

Курс рассчитан на совсем мало подготовленного читателя. Самое большее, чего я могу от него потребовать,—это знания четырех правил арифметики и начатков механики и черчения. Может ли этот курс служить для самостоятельного ознакомления с биомеханикой, покажет, конечно, будущее. Я рассчитываю на него пока, как на повторительное пособие для тех, кто в той или иной форме уже получил биомеханическое воспитание в кружке физкультуры, фабзавуче, на моих лекциях и т. д. Поэтому курс и издается на правах рукописи.

Не могу не поблагодарить здесь тов. М. В. Пшеничникова, так горячо отнесшегося к идее и изданию курса и так много способствовавшего его осуществлению. Всех тех товарищей, которые прослушали этот курс в натуре, я очень прошу сообщать мне свои возражения, сомнения и вопросы.

Д-р. Ник. Бернштейн.

Москва, октябрь 1925 г.

Лекция 1-я

Товарищи! Биомеханика в точном переводе значит механика жизни. В сущности это есть наука о том, как построена живая машина, т.-е. каждый из нас; о том, как устроены движущиеся части этой машины и как они работают. Знакомство с живой машиной необходимо для того, чтобы, путем умелого обращения с ней, добиться наилучшей и наиболее производительной работы.

Вы понимаете, что законы механики повсюду одни и те же, касается ли дело паровоза, станка или человеческой машины. Значит, нам не придется выводить какие-то новые, особые механические законы. Мы должны только составить описание и характеристику живой машины так, как мы сделали бы это для автомобиля, ткацкого станка и т. п.

Разница между обоими видами описания заключается только в том, что человеческая машина гораздо сложнее и прихотливее, чем любая из когда-либо существовавших искусственных машин. Поэтому в наших знаниях по биомеханике гораздо больше пробелов, чем, например, в знаниях по строительной механике или по машиноведению. Здесь еще много темных мест, много такого, о чем можно говорить только приблизительно.

Другая разница состоит вот в чем. Каждый из вас может надеяться изобрести какую-либо новую искусственную машину или приспособление, затем взять на него патент и тотчас же претворить свою мысль в дело, т.-е. построить свое изобретение. К сожалению, усовершенствовать человеческую машину, подчинить ее конструкцию своему произволу пока невозможно. Нам приходится принять ее к сведению, как она есть, со всеми ее достоинствами и недостатками. Нам предоставлены только кос-

венные обходные приемы, чтобы миновать ее недостатки и в полной мере использовать преимущества.

Не теряя времени, приступим же к разбору живой машины, ее устройства и способов ее использования.

Человеческое тело состоит из ряда звеньев, соединенных между собой шарнирами-сочленениями и способных вращаться одно относительно другого. Каждое такое звено мы можем на первое время считать твердым, не меняющим своей формы. Например, каждый из ваших пальцев состоит из трех звеньев. Опорою этим звеньям служат к о с т и, но их подробное описание интересует нас очень мало. Для биомеханики гораздо важнее вопрос о том, как сочленены между собой звенья человеческой машины, и какова их взаимная подвижность.

Скелет человека (рис. 1) состоит, круглым счетом, из 170 отдельных костей, которые, все более или менее взаимно

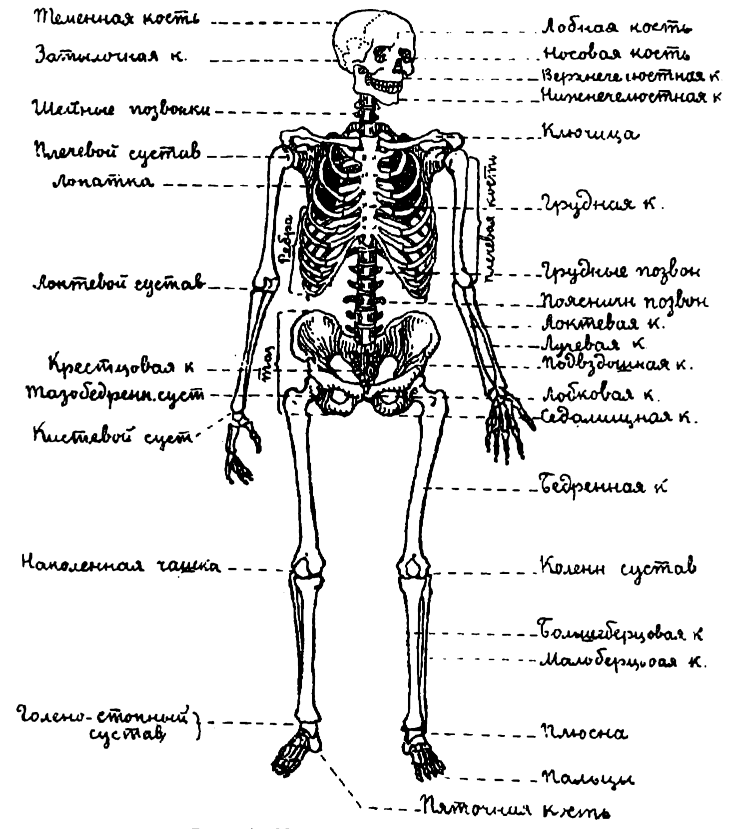
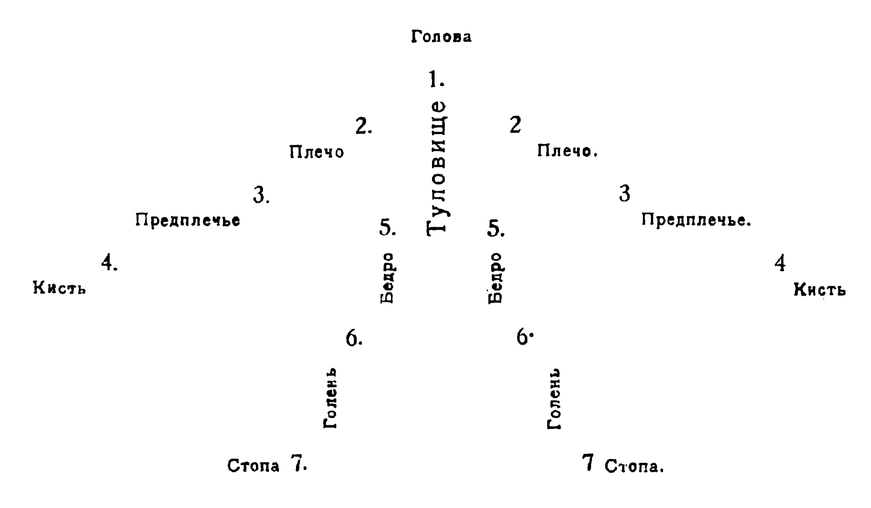


Рис. 1. Костный скелет человека.

подвижны. Однако рассматривать все имеющиеся между ними сочленения значило бы для нас зайти слишком далеко. Прежде всего мы сильно упростим скелет человеческой машины, превратив его в то, что будем называть сокращенной схемой человеческого тела.

Мы будем в дальнейшем принимать все туловище вместе с шеей за нечто целое и уже не будем обращать внимания на взаимную подвижность его частей, в действительности довольно значительную. Другим, таким же неизменяемым звеном мы будем считать голову, отвлекаясь и от ее внутренней подвижности (движения нижней челюсти и т. д.). Конечности мы будем делить каждую на три части. Тогда сокращенная схема получает следующий вид:



Сочленения между этими звеньями мы обозначим так:

1—шейно-затылочное сочленение.
2—плечевое с.
3—локтевое с.
4—лучезапястное с.
5—тазобедренное с.
6—коленное с.
7—голеностопное с.

У вас должен возникнуть вопрос о том, по каким причинам человеческое тело получило вид именно такой схемы. Только ознакомившись с тем, как возник и развивался скелет позвоночных животных, можно отдать себе отчет в этих причинах Ведь в созидании человеческой машины не участвовал инженер

который мог бы представить нам проект ее конструкции и объяснительную записку с мотивировкой.

Начнем с туловища. Рассмотрев строение туловища рыбы или змеи, вы увидите, что оно представляет собою цепочку из отдельных члеников, сочлененных друг с другом. От каждого членика—позвонка—в обе стороны отходят костные перекладинки—ребра, связанные между собой упругими растяжками—мышцами. Это самая первоначальная схема строения позвоночного животного. Точно так же в начале своего развития построен человеческий зародыш. Опорным стержнем его тела первоначально служит гибкая палочка — спинная струна; впоследствии на ее месте развивается цепочка костяных позвонков—позвоночный столб. Со всех сторон спинной струны возникают мышечные растяжки, которые укрепляют спинную струну и в то же время обеспечивают ей гибкость.

Более новым добавлением к этой древнейшей системе являются **конечности**. У всех позвоночных животных: рыб, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих конечности построены по одному основному плану; по существу они не изменились.

Основная схема конечности напоминает собою **кисть**; она присоединена к телу посредством одной кости; с этой костью сочленены целых две и т. д., пока к концу такая конечность не превратится в целую связку лучеобразно расположенных костей. Так построены, например, передние плавники рыб.

Совершенно сходно устроены конечности и у человека. Верхнее звено конечности (плечо, бедро) состоит из одной кости, следующее звено (предплечье, голень) из двух; дальше следуют в несколько рядов мелкие косточки и, наконец, концевые звенья (кисть, стопа) из пяти лучей—пальцев.

С того времени, как конечности перестали выполнять обязанности плавников и приспособились к перемещению тела по суше, они претерпели ряд изменений. Самую первоначальную форму конечностей, приспособленных для ходьбы, находим мы у ящерицы (рис. 2 вверху). Все четыре конечности ящерицы расположены под прямым углом к позвоночному столбу, так что бедренные и плечевые кости лежат горизонтально, а голени и предплечья направлены вниз. При этом устройстве конечности еще мало работоспособны. Прежде всего, будучи раздвинуты далеко в стороны, они не могут поддерживать туловище животного на весу, и ящерица вынуждена влачить его по земле

(пресмыкаться). Во-вторых, конечности ее не приспособлены к тому, чтобы качаться взад и вперед, как это необходимо для ходьбы. Для того, чтобы итти, ящерице приходится опираться на одну ногу и затем с помощью мышц всего туловища поворачиваться кругом этой ноги наподобие циркуля. Легко понять, насколько это неэкономно.

Конечности млекопитающих претерпели, по сравнению с этой схемой, любопытные изменения. Представьте себе, что задние конечности повернулись на 90° вперед, передние на столько же назад, так что получилось расположение, изображенное на средней части рис. 2. И здесь верхний отрезок конечности состоит из одной кости, средний—из двух, самый нижний — из многих мелких косточек, но положение их относительно туловища уже иное.

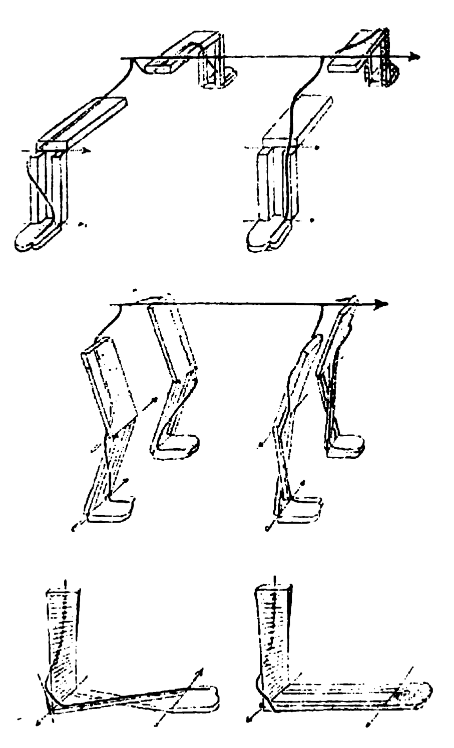


Рис. 2. Схема, изображающая развитие конечностей позвоночных. Наверху конечности ящерицы, посредине—конечности четвероногого млекопитающего. Внизу—механизм пронации и супинации (см. лекцию 3). (По Браусу).

Прежде всего вам ясно, что при новом расположении туловище уже значительно легче поддерживать на весу, так как подпорки приходятся прямо под туловищем, а не далеко в стороны от него, как было раньше. При этом несколько подогнутые навстречу друг к другу срединные сочленения служат своего рода рессорами: они могут складываться и смягчать толчки, направленные как спереди, так и сзади.

Во-вторых, вы поймете, что теперь, когда оси всех сочленений конечностей повернулись в поперечном направлении, конечности могут уже беспрепятственно качаться вперед и назад, т.-е. совершать как раз те движения, которые необхо-

димы для ходьбы. Очевидно, ходьба может теперь совершаться проще и с меньшими усилиями, чем это было у пресмыкающихся.

Мы оставили с вами без внимания одно событие, которое неминуемо должно было сопровождать описанный сейчас поворот конечностей. Ведь передние конечности повернулись под прямым углом назад — значит их нижние звенья (кисти) должны были бы оказаться обращенными тоже назад. Действительно, чтобы вернуть их в правильное положение—пальцами вперед—средним звеньям пришлось перекрутиться вокруг оси, так что их кости должны были скреститься наподобие буквы х. Такой поворот имеется у млекопитающих; у человека он возможен, но не постоянен: человек может совершать его по желанию. К этому движению мы еще вернемся.

Между строением тела человека и четвероногих млекопитающих нет существенной разницы, кроме некоторого изменения пропорций. Между тем человеку приходится стоять вертикально и ходить на двух ногах, так что механические условия работы его тела совершенно иные, чем у четвероногих. Все строение человеческого скелета приспособлено, между тем, к условиям четвероногого образа жизни. В нем масса остатков, еще до сих пор не переделанных для двуногого существования. Многие детали человеческой машины, которые были бы совершенно понятны, если бы мы ходили на четырех ногах, оказываются совершенно неподходящими и прямо вредными при двуногом образе жизни. Достаточно будет упомянуть о строении женского таза; каждый из вас знает, насколько труднее болезненнее и опаснее совершаются роды у человека, чем у четвероногих. Необходимость в акушерских больницах сильно зависит от того, что человек стал ходить вертикально, не переделав своих двигательных конструкций.

Перейдем теперь к строению сочленений.

Сочленяемые кости не соприкасаются непосредственно друг с другом; они выстланы в месте сочленения упругим сочленовным хрящом. Хрящи обеих костей очень точно пригнаны друг к другу: если одна кость имеет на конце головку, то вторая оканчивается впадиной как раз подходящего размера и формы. Все сочленение заключено в непроницаемую сумку, внутри которой, таким образом, получается маленькая полость. Сумка эта укрепляет сочленение и в то же время служит для него смазочным

аппаратом: внутренняя оболочка ее выделяет, капля за каплей, жидкость, постоянно смазывающую трущиеся поверхности хрящей.

Сочленений только что описанного вида в человеческом теле большинство. Это наиболее совершенная конструкция, но у человека попадаются и более грубые старинные формы. На рис. 3 изображен продольный распил трех позвонков. Вы видите, что их соединение осуществлено очень просто: между ними проложена гибкая хрящевая подушка, которая обеспечивает позвонкам небольшую взаимную подвижность. Между таким тугоподвижным хрящевым сращением и настоящим сочленением существуют всевозможные переходные формы, на которых мы останавливаться не будем.

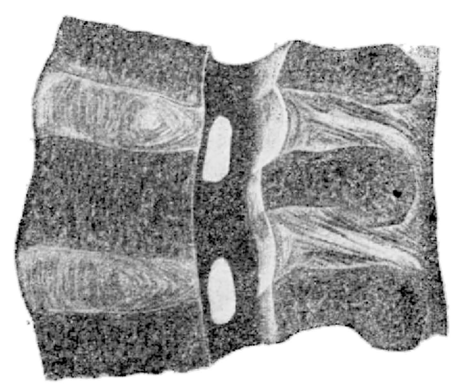


Рис. 3. Продольный распил трех позвонков. Слева—губчатые тела позвонков, соединенные хрящевыми подушками; справа—остистые отростки позвонков, сращенные между собою связками. Посредине — канал для спинного мозга с отверстиями для входа и выхода нервов. (по Шпальтегольцу).

Важная разница между человеческими сочленениями и машинными соединениями заключается в способе закрепления соединенных частей. Машинные подшипники по большей части строятся так, что одна часть целиком охватывает другую, так что между ними получается жесткая связь. У человека таких охватывающих приспособлений нет, и потому закрепляющая связь осуществляется иначе. Вы помните, что все сочленение бывает заключено в непроницаемую сумку. Эта сумка состоит из довольно прочной сухожильной ткани, которая большей частью бывает еще укреплена вспомогательными связками. Таким образом сама сумка может уже обеспечить сочленению некоторую прочность. Но этого мало. Представьте себе, что мы попытаемся растянуть сочлененные кости в стороны друг от друга. Но так как сочленовная сумка непроницаема для воздуха, то у вас получится попытка увеличить размер сочленовной полости, не впуская в нее воздуха. Этому будет препят-

ствовать воздушное давление. Раздвинуть сочлененные кости окажется так же трудно, как разнять два сложенные вместе полые полушария, из которых выкачан воздух. Сила воздушного давления в тазобедренном сочленении достигает полутора пудов, т. е. вдвое превышает вес всей нижней конечности. Ученые проделали такой опыт. Нижнюю конечность трупа совершенно освобождали от мышц, заставляя ее висеть на одной только сочленовной сумке. К этой конечности подвешивали снизу еще груз. Конечность прочно держалась на своем месте; но достаточно было прорезать маленькое отверстие в сумке, как сейчас же в полость сочленения с шумом входил воздух, и сочленовные поверхности немедленно расходились.

Это еще не все. Сочленения окружены со всех сторон мышцами, которые сращены с обеими сочлененными костями. Мышцы со своей стороны обладают большой прочностью на растяжение. Притом они постоянно несколько натянуты и содействуют закреплению сочленения в еще большей мере, чем воздушное давление.

Перейдем теперь к тому, какова взаимная подвижность сочлененных костей и как определить эту подвижность. Предупреждаю вас, что это довольно сложный вопрос. Пусть кто-нибудь из товарищей выйдет сюда и покажет, как движется у него плечевое звено в плечевом сочленении. Вы видите, что он может поворачивать плечо вперед, назад и в стороны. Вы знаете, что стержень, который одним концом закреплен, а другим концом может свободно двигаться во все стороны, будет постоянно двигаться этим концом по поверхности шара. По такой шаровой поверхности движется и нижний конец плечевого звена. Так как его подвижность не ограничена при этом какой-нибудь одной линией, а целой поверхностью, то мы говорим, что он имеет две степени подвижности. Но это еще не все. Я буду удерживать нижний конец плечевого звена нашего испытуемого неподвижно в каком-нибудь одном положении. Может ли он при этом еще как-нибудь двигать плечом?

Слушатели. Нет, не может.

Лектор. Так ли? Согните руку в локте под прямым углом. Можете ли вы двигать рукою так, как если бы предплечье было спицей, а плечо осью, поворачивающейся кругом самой себя?

Испытуемый. Могу.

Лектор. При этом нижний конец вашего плеча, который я удерживаю пальцами, не меняет своего положения в пространстве. Значит, плечо имеет всего целых три степени подвижности. Итак мы говорим об одной степени подвижности, когда звено может двигаться только по одной линии; о двух степенях, когда его конец может двигаться по целой поверхности; и о трех степенях, когда звено может при этом поворачиваться еще вокруг своей продольной оси. Теперь испробуйте сами и скажите, сколько степеней подвижности имеет ваше локтевое сочленение?

Слушатели. Одну степень.

Лектор. Совершенно верно, это будет сгибание и разгибание локтя: ведь нижний конец предплечья может двигаться только по дуге круга. В человеческом теле есть сочленения и с двумя степенями подвижности,—таково, например, голеностопное сочленение. Держите голени неподвижно и попробуйте сделать всевозможные движения стопой. Вы видите, что носок ноги может двигаться в разных направлениях по какой-то поверхности, но вращаться вокруг своей продольной оси стопа уже не в состоянии.

Теперь поставим себе вопрос о том, какие формы должны иметь сочленовные окончания для того, чтобы давать различные степени подвижности. Начнем с одной степени подвижности.

Будет всего удобнее, если мы рассмотрим сначала машинные соединения. Очевидно, простой цилиндрический подшипник имеет только одну степень подвижности. Действительно, если ось колеса соединена с помощью такого подшипника со станиной, то каждая точка колеса может двигаться только по одной единственной линии—окружности. Значит, соединение цилиндрического типа будет обладать одной степенью подвижности. Однако, если бы наш цилиндр не имел закраин, то он мог бы смещаться еще и вдоль своей оси, т.-е. обнаружил бы и вторую степень подвижности. Так ведут себя, например, шестерни автомобильной коробки скоростей. Если же цилиндр снабжен закраинами, то, очевидно, форма у этих закраин может быть какая угодно, лишь бы все тело в целом было круглым, представляло бы собой то, что называют телом вращения.

К телам вращения относятся, например, такие тела, как блок, катушка, круглый самовар, колонна и т. д. Все сочлене-

ния, в состав которых входят тела вращения, будут, следовательно, обладать одной степенью подвижности.

Рассмотрим для примера сочленения между плечевой и локтевой костями. Вы видите (рис. 4), что плечевая кость оканчивается внизу катушкой. На том конце локтевой кости, который сочленяется с плечом, имеется соответствующей формы выемка, ограниченная сверху и снизу двумя выступами кости. Если катушка и выемка точно пригнаны друг к другу, то они будут взаимно подвижны в одном направлении; значит, любое тело, плотно соединенное с катушкой, будет и само иметь только одну степень подвижности в рассматриваемом сочленении. Мы уже имели случай убедиться, что локтевое сочленение действительно относится к одностепенным.



Рис. 4. Локтевое сочленение правой руки, вскрытое спереди. Хорошо видны блок плече-локтевого и шарик плече-лучевого сочленения. А—плечо, Б—локтевая, В—лучевая кость. (По Тольдту).

Мы можем представить себе и другие виды одностепенных соединений: таково будет, например, соединение между крейцкопфом и его направляющими в паровой машине, соединение между винтом и гайкой и т. д. Однако, в живой машине эти типы одностепенных соединений не встречаются. Обратимся теперь к соединениям трехстепенным. После всего рассказанного вы легко поймете, что соединение с помощью так называемой шаровой головки имеет три степени подвижности. Все трехстепенные сочленения человеческой машины как раз и построены по типу шаровых соединений [1]). На рис. 5 изображен разрез тазобедренного сочленения человека. Вы видите, что бедро вверху кончается правильной шаровой головкой, и что эта головка плотно входит во впадину тазовой кости, имеющую форму полушария. Сделав проверку на самих себе, вы легко убедитесь, что бедро имеет относительно туловища три степени подвижности, точно так же, как и плечо.

---

[1]) Трехстепенное межчелюстное сочленение много сложнее и не относится к шаровым.

В природе не существует таких поверхностей, которые могли бы дать две, и только две, степени подвижности друг относительно друга, оставаясь в то же время плотно приложенными одна к другой [1]). Какую бы поверхность вы ни брали, она даст вам непременно или одну степень подвижности относительно другой подобной или уже сразу целых три степени (или, может быть, ни одной, если одну поверхность никак нельзя сдвинуть с другой, не нарушив их соприкосновения).

Проверим себя на примере. Возьмем две соприкасающиеся плоскости, например вот этот диапозитив, положенный на стол. Сколько степеней подвижности имеет он относительно стола?

Слушатели. Две степени.

Лектор. Какие же это две степени?

Слушатель. Он может двигаться по поверхности.

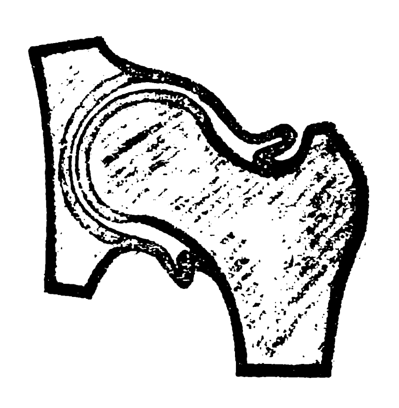


Рис. 5. Разрез шарового тазобедренного сочленения (по Моллиеру).

Лектор. Вы хотите сопоставить его движение с движением конца плечевой кости по шаровой поверхности? В этом вы совершенно правы, но ведь диапозитив может в каждой точке поверхности стола, куда вы его приведете благодаря двум степеням его подвижности, еще вращаться вокруг самого себя, как и плечо. Это будет уже третья степень подвижности. Впрочем, плоскость есть ведь только частный случай шара: ее можно рассматривать, как часть шара бесконечно большого поперечника. Рассмотрим какие-нибудь другие поверхности. Предложите сами.

Слушатели. Какую подвижность имеет колесо на рельсе?

Лектор. Если колесо может только катиться по рельсу, но не скользить, то его подвижность одностепенна. Однако, этот пример нам не подходит, так как колесо не прикасается к рельсу целой поверхностью. Дайте другой пример.

Слушатель. Пробка в графине?

---

[1]) Единственное исключение, как уже раньше было сказано, представляет собою цилиндр.

Лектор. Как вам кажется?

Слушатель. Одну степень?

Лектор. Если пробка имеет форму конуса, то конечно одну степень,—вращение вокруг оси. Когда вы вынимаете пробку из графина, вы сейчас же нарушаете ее соприкосновение с ним. А не найдете ли вы примера поверхности, не имеющей ни одной степени подвижности относительно другой подобной поверхности? Вас это затрудняет? Например, печатный стереотип и матрица, из которой он отливается. Можете ли вы, наложивши один на другую, сдвинуть их, не нарушая их соприкосновения? Очевидно, нет. В человеческом теле есть соединения костей как раз по этому типу, лишенные всякой подвижности. Таковы, например, соединения костей черепа между собою.

Вернемся однако к подвижным сочленениям живой машины. Я уже упоминал, что в ней встречаются двухстепенные сочленения, и притом не цилиндрического типа. Как же согласовать это с только что высказанным правилом о подвижности поверхностей?

Дело в том, что сочленовные поверхности человеческой машины несколько податливы и гибки. Поэтому они могут сохранять взаимное соприкосновение и тогда, когда они не вполне точно подходят друг к другу. Живая машина знает несколько типов сочленений, которые становятся возможны только благодаря хрящевой гибкости. Сюда относятся т.-н. седловидные и яйцеобразные сочленения.

Вообразите себе поверхность, имеющую форму английского седла, т.-е. выпуклую в одном направлении и вогнутую в другом. Если с этой поверхностью соприкасается другая, подобной же формы и лишенная всякой гибкости, то они не будут иметь вообще никакой взаимной подвижности. Если же они могут несколько менять свою форму, то подвижность будет как раз двухстепенной. Раз мы уже взяли в качестве одной поверхности седло, то в качестве второй возьмем всадника. Действительно, всадник может, не меняя положения ног, наклоняться вперед и назад и с'езжать с седла в стороны, но уже не может вращать свое тело вокруг оси, т.-е. поворачиваться вправо и влево. Таким седловидным устройством обладает, например, сочленение между запястьем и пястной костью большого пальца руки (рис. 6).

Другой вид двухстепенного сочленения, также возможный только благодаря податливости хрящей, есть т.-н. яйцевидное сочленение. Представьте себе впадину, вырезанную из боковой, более плоской части яичной скорлупы. Если вы вложите в такую впадину боком целое яйцо, то оно также будет иметь в ней две степени подвижности: его можно будет несколько качать во все стороны, но нельзя будет вертеть во впадине вокруг вертикальной оси, наподобие волчка. К такому типу принадлежит, например, сочленение между головой и первым шейным позвонком.

В человеческом теле есть сочленения, которые еще в большей мере пользуются гибкостью хрящей. На рис. 7 изображен продольный распил коленного сочленения. Вы видите, что поверхности обеих соединяющихся здесь костей ни в какой мере не подходят друг к другу; начать с того, что обе они выпуклы. Для того, чтобы обеспечить широкое соприкосновение таких несходных поверхностей, между обеими костями (бедренной и большой берцовой) проложен третий промежуточный хрящ двояковогнутой формы. Благодаря ему сочленение в целом получает не то одну, не то две степени подвижности в зависимости от своего положения и от степени податливости сочленовных связок данного лица.



Рис. 6. Седловидное сочленение между костями А и Б, дающее две степени подвижности.

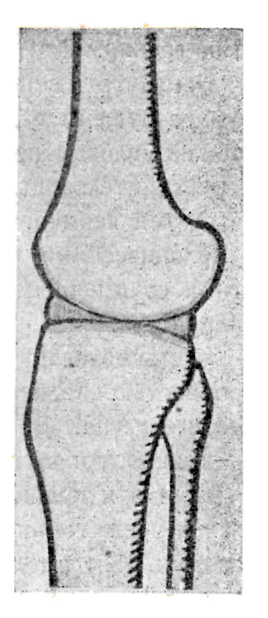


Рис. 7. Схематизированный продольный разрез коленного сочленения. Видна двояковогнутая хрящевая прокладка. (По Моллиеру).

Все, что говорилось до сих пор, относится только к способу или характеру подвижности соединенных частей. Здесь ничего еще не предрешено о том, в каких границах возможны движения в данном сочленении. Очевидно, что одностепенные и трехстепенные сочленения могут быть и широко подвижными

и очень малоподвижными. Например, хрящевое сращение двух позвонков обладает, по крайней мере, тремя степенями подвижности, так как упругий хрящ одинаково податлив во всех возможных направлениях. Но по каждому из этих направлений позвонки подвижны очень мало: всего на 5°—10°. С другой стороны локтевое сочленение с одной единственной степенью подвижности имеет очень широкие границы подвижности: 140° и выше. Мы еще рассмотрим впоследствии границы подвижности отдельных главных сочленений человеческого тела и способы описания этих границ.

Пока что мы пересмотрели с вами, какие формы сочленений вообще пущены в дело при конструкции живой машины. Мы познакомились с прейс-курантом возможных сочленений. Как они в действительности размещены и как действуют, мы разберем в третьей лекции; а сейчас вкратце познакомимся со строением и механическими свойствами к о с т е й, которые связываются этими сочленениями и представляют собою главную жесткую опору тела.

Кость обладает огромной и разносторонней механической прочностью. Ее крепость на разрыв мало отличается от крепости чугуна. Ее сопротивление раздавливанию или излому превышает сопротивление дуба. В общем прочность кости приближается к прочности латуни. В то же время костные сооружения чрезвычайно легки. Удельный вес кости немногим меньше двух. Чем же достигается такая крепость кости? Из какого же вещества она состоит?

Химический состав кости не сложен: она состоит в наибольшей части из разных известковых солей, главным образом из фосфорно-кислой извести. Это вещество знакомо нам и из мертвой природы и не отличается никакой особой прочностью.

Ответить на наш вопрос можно только, если рассмотреть внутреннее строение кости. Прочность кости зависит не от того, что она построена из прочного вещества, а от того, что она умно построена. Если отшлифовать маленькую и тоненькую пластинку кости и изучать ее под микроскопом, то можно увидеть, что костное вещество состоит целиком из тончайших трубочек, пронизанных очень тонкими каналами. Просвет этих каналов так мал, что в него не прошел бы и волос. Весь секрет прочности кости заключается в строении стенок этих костных канальцев.

Стенка такого канальца состоит из ряда слоев, и каждый слой представляет собою сеточку из тончайших волоконец, пропитанную известковыми солями. Если вы знакомы с железо-бетонными конструкциями, то вы увидите в строении стенок костных канальцев большое сходство с этими конструкциями. Волокнистые сеточки соответствуют арматуре железо-бетонных балок, а известковые соли соответствуют бетону. Вот за счет такого сочетания и достигается громадная прочность, которая примерно впятеро превышает прочность железо-бетона. Такое строение кости из двух материалов можно доказать и не прибегая к микроскопу.

Если положить кость в раскаленную печь и прожечь ее, то органические волоконца прогорят, и останется только известковая часть кости, только ее «бетон». Такая прожженная кость окажется очень хрупкой и легко раздробляющейся в порошок. Можно сделать обратное: положить кость в слабый раствор кислоты, в котором растворятся все известковые соли; после такой процедуры кость сделается мягкой, как тряпка: ее можно будет намотать на палку.

Из таких составных элементов организм строит не сплошные колонны, а сложные решетчатые сооружения, напоминающие под'емные краны. Живая кость обладает одним замечательным свойством. Она развивается сильнее всего там и в тех направлениях, где на нее воздействуют наибольшие силы, и вырождается в тех местах и направлениях, где силы не действуют. Поэтому получается, что кость есть своего рода самостроящийся автоматический мост. В ней постепенно исчезают, недоразвиваются все части, кроме тех, которые нужны для достижения наибольшей прочности при наибольшей же легкости.

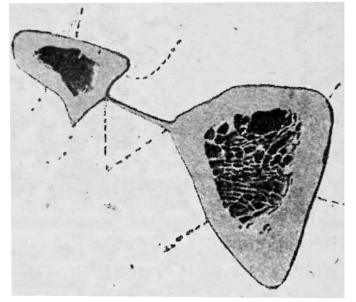
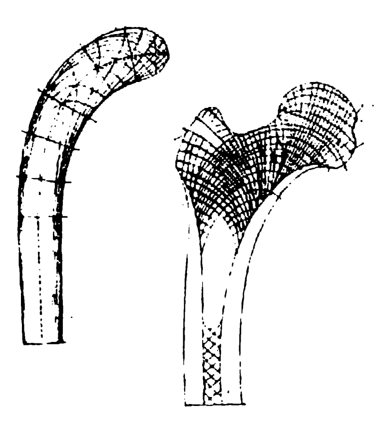


Рис. 8. Поперечный распил костей голени. Слева—малая, справа—большая берцовая кость. (По Шпальтегольцу).

Посмотрите на поперечный распил большой берцовой кости, изображенный на рис. 8. Вы видите, что кость эта имеет внутри полость, окруженную толстой стенкой. Значит, вся кость в целом имеет строение трубки. Она построена точно так же, как трубы, из которых состоит велосипедная рама, и так же,

как и последняя, соединяет прочность с экономией материала. Концы кости, в которых взаимоотношения механических воздействий разнообразнее и сложнее, обладают и более сложным строением. Они одеты с поверхности тонким сплошным слоем костного вещества, а внутри это костное вещество образует систему взаимно-пересекающихся перегородок, нечто вроде мелких ячеек, Если кто-нибудь из вас имел дело со строительной механикой, то он слышал о так называемых траекториях напряжений, которые определяют направления наибольших воздействующих сил. И оказывается, что костные перегородки концов кости располагаются как раз в направлении таких траекторий напряжений. Вычисления показали, что соответствие получается здесь очень близкое. На рис. 9 изображен продольный распил верхнего конца бедренной кости человека; рядом дано для сравнения расположение траекторий напряжений в верхнем конце под'емного крана, который подвергается усилиям, очень сходным с усилиями в бедре. Сходство обоих рисунков говорит само за себя. Интересно, что там, где несколько смежных костей в общей совокупности подвергаются одним и тем же усилиям, перегородки в них представляют собою как бы непосредственное продолжение друг друга. Так происходит, например, в костях, составляющих стопу. Стопа есть свод, который опирается на землю тремя точками: основаниями большого пальца и мизинца, и пяткой. На эти своды сверху давит тяжесть всего тела. Сообразно с этим перегородки костей стопы расположены как раз так, как располагались бы в соответствующем случае элементы железной сводчатой постройки.


Рис. 9. Расположение костных перегородок в головке бедренной кости (справа), в сопоставлении с линиями напряжений в под'емном кране (слева).

Лекция 2-я

Товарищи! В прошлый раз мы с вами говорили о том, что служит вспомогательным аппаратом при движении: о рычагах— костях и шарнирах—суставах. Те и другие повинуются движению двигателей человеческой машины, они, так сказать, исполняют движение, но не вызывают его самостоятельно. Это пассивная часть. А деятельная часть человеческой машины—это мышцы или мускулы. Относительно того, как работают мышцы или мускулы, широкой публике известно очень мало. Но надо сказать, что и ученые не вполне еще разбираются в том, как работают мышцы. Поэтому сейчас придется несколько тщательнее расследовать, что такое мышцы, как они действуют, и что от них можно ожидать. Это расследование не раз пригодится вам, чтобы понять, как происходят движения человеческой машины. Каждый из вас видел мышцы, если не человеческие, то мышцы животных. То, что известно в просторечии под названием мяса, и есть мышцы. Если взять кусок супового мяса, хорошо вываренного, то мы увидим, что вся масса мускулов распадается на маленькие волоконца. Эти волоконца представляют собой главную и составную часть мышц как человека, так и животных. Но это еще не самая мелкая составная часть мышц. Если рассмотреть мышцы под микроскопом, то оказывается, что эти волоконца состоят из более маленьких волоконец, более тонких, чем волоски, около 0,001 части миллиметра в поперечнике. Все мышцы состоят из продольно лежащих рядом друг с другом маленьких волоконец. Эти волоконца соединены в маленькие пучки, тоже очень тонкие. Если перерезать мышцу поперек, то, как вы увидите уже простым глазом, они выглядят, как ячеистая постройка. Каждое тончайшее волоконце мышцы представляет собой первоначальный, элементарный двигатель.

Каждое волоконце обладает способностью производить движение. Эта первичная машина,—мышечный двигатель, построена однако, очень своеобразно и не похоже на то, как построены искусственные двигатели. Каждая мышца представляет собой несколько сот тысяч, может быть, миллионов отдельных двигателей, которые все соединены параллельно друг с другом и все выполняют одну общую работу. Эти мельчайшие простейшие двигатели мышечного вещества можно рассматривать только под микроскопом. Вы видите, что это тонкое волоконце все исчерчено поперечными полосками и выглядит, как трико. Довольно сложный опыт с мышцами, которого я описывать не буду, показал, что только один вид этих полосок обладает способностью производить движение, а другие промежуточные полоски служат связкой для сократительных элементов. Так что в этом волоконце только половина двигателей, а остальная половина скрепляет двигатели между собой. Волоконца в каждом пучке пригнаны так аккуратно, что эти полоски совпадают между собой у рядом лежащих волокон. Под микроскопом это сплошной полосатый пучок, почему мышцы скелета и называются поперечнополосатыми. А если такой пучок рассмотреть не сбоку, как я нарисовал, а с конца или в перспективе, то те же полоски будут выглядеть наподобие дисков. Представьте себе что вы поставили столбиком поочередно медные копейки и серебряные двугривенные: вот так на самом деле выглядит строение мышечного пучка.

Как же работает эта постройка? Прежде всего, для того, чтобы понять работу мышцы так, как она происходит у человека, давайте посмотрим ее „в холодном состоянии“, вне работы, точно так же, как если бы вы захотели изучить работу мотора, то вы первоначально познакомились бы с ним в стоячем виде; словом, ознакомились бы с его устройством вне работы, а потом уже пустили бы его в ход и посмотрели бы, что получается. Рассмотрим, что такое мышцы сами по себе и как они работают. Рис. 10 изображает две кости, между которыми натянута мышца. Вот в сущности форма, которая повторяется во всех установках мышц человеческой машины. Но вырезать для опытов мышцу у человека невозможно. Для этого лучше всего взять животное, напр. лягушку. Если вырезать мышцу у лягушки и попробовать ее растянуть, то вы увидите, что она упруга, она сопротивляется, т.-е. развивает некоторую силу.

Мышца растягивается, как пружина. Если вы возьмете лягушечью мышцу и к ней подвесите гирьку, то она растянется, станет длиннее, а как только вы снимете гирьку, мышца примет снова прежнюю длину. Разница с обыкновенной пружинкой есть, и мы к ней еще подойдем. Чтобы представить себе мышцу-пружинку, возьмем для начала простую пружинку. Если подвесить на конец пружины груз, то он растянет пружину. Что это значит?

Вы знаете, что упругие тела, например пружина, обладают тем свойством, что они сами собой возвращаются к прежнему размеру, как только вы перестанете их растягивать. Для того, чтобы как-нибудь изменить их форму, для того, чтобы растянуть пружину или упругое тело, нужно приложить какую-нибудь силу, в данном случае гирю, и она силой своего веса растягивает пружину. Известно, что если для какого-нибудь движения нужно приложить силу, то это значит, что это движение требует работы. Вы знаете, вероятно, что если взять гирю и дать ей упасть на землю, то она падая производит работу, и эта работа измеряется произведением веса груза на ту высоту, на которую этот груз опустился. Работу измеряют килограммо-метрами. Вот поэтому мы с вами скажем, что если, например, к какой-нибудь пружине подвесить гирю в 1 килограмм, а гиря ее растянет на 1 метр, то это значит, что гиря произвела работу в 1 килограммометр. Для того, чтобы растянуть нашу пружину на данную величину, потребовалась работа в 1 килограммометр. Куда же делась эта работа, куда она пошла? В природе ничего не пропадает.



Рис. 10. Действие мышцы на рычаг кости. Эта мышца (бицепс или двуглавая мышца плеча) действует только на кости предплечья, так что сжимание кисти в кулак, изображенное на этом рисунке, есть вольность художника.

Между тем гиря, опустившись, остановилась спокойно, перестала двигаться. Значит, работа куда-то исчезла. Где она находится?

Слушатель. Эта работа израсходовалась на растяжение пружины.

Лектор. Конечно, она израсходовалась на растяжение пружины. И если вы ее отпустите, она с силой сократится обратно. Все количество работы, значит, перешло в скрытую форму напряжения пружины. Чем пружина больше растянется, тем больший запас работы в ней скрыт. Возьмем другой вид пружины, который вам больше знаком. Скажем, пружину грамофонную. Если вы растянете эту пружину, вы создадите в ней напряжение и эту работу почти что полностью вам пружина возвратит, когда начнет раскручиваться. Значит, основное свойство пружины таково: *ее можно заряжать работой, создавая в ней напряжение, и можно получать ту же работу обратно в любой момент*, когда пружина опять раскрутится и ликвидирует свое напряжение. Она возвращает ту работу, которую мы ей сообщили. Теперь, очевидно, что вы можете растянуть пружину, скажем, рукой или грузом и затем предоставить ей сокращаться обратно. Посмотрим, что же получается с мышцей той же лягушки.

Вот вы растянули мышцу, создали в ней какую-то силу напряжения и зарядили ее работой. Эта сила напряжения в ней может быть ликвидирована, если вы ей предоставите укоротиться обратно. Мышца сократится и возвратит часть работы. Теперь, почему часть? Вот почему. Какую бы вы идеальную стальную пружину ни взяли, все равно она всей работы не может возвратить, потому что часть работы расходуется на внутреннее трение частиц. Как бы ни хороша была пружина, трение в ней всегда есть, и на это трение расходуется работа. Поэтому часть, может быть 95%, но не все 100% вернутся обратно. С мышцею дело обстоит хуже. Она неспособна вернуть и 50% всей работы; она расходует громадное количество этой работы на трение. Если вы ее растянете и потом предоставите ей сократиться самой, то она вернет не всю работу, а только часть ее. Вам может притти в голову, что если бы мышца была 50 сантим. длины, а мы растянули ее еще на 8, то после этого она уже не смогла бы сократиться до прежних 50 сантиметров, а только до 51—52. Опять возьмем, в последний раз, ту же самую пружину, с которой дело происходит проще. Что будет, если вы к ней подвесите гирю? Эта гиря начнет ее растягивать? Совершенно правильно. Что значит растяжение? Попробуем разобрать это, и вы всю жизнь не забудете, что значит: гиря растягивает пружину. Гиря тянет пружину книзу с силой, равной

ее весу. Давайте писать в цифрах: пусть гиря весит один килограмм. Как подвесить гирю, чтоб она была в равновесии? Когда мы только подвесили гирю к пружине, последняя еще сопротивляться не может: она ведь еще не растянута. Значит, гиря начинает падать вниз, куда тянет ее собственный вес, и со стороны пружины она никакого противодействия не встречает. Как только она начинает тянуть пружину книзу, то в этот же момент, благодаря начинающемуся растяжению, создается некоторое сопротивление, которое начинает тянуть гирю кверху. Гиря тянет книзу с силой в 1.000 грамм, но пружина начала действовать, например, с силой в 100 грамм. В результате получится равнодействующая этих двух сил: 1.000 вниз и 100 кверху, т.-е. 900 грамм, направленных книзу. Чтобы узнать, с какой силой гиря тянет пружину книзу, надо взять разность обеих сил. Вы знаете, что чем сильнее растянута пружина, тем больше у нее сила сопротивления, так что можно настолько сильно растянуть пружину, что получится какое угодно сопротивление. (Понятно, в пределах упругости пружины!) Вот мы общими усилиями растянем пружину, т.-е. не мы сами, а опускающийся груз растянет ее до такой степени, что сопротивление будет равно тем же самым 1.000 грамм, что и вес груза. Это значит, что обе силы уравновесятся. Но значит ли это, что груз остановится на той же высоте? Ведь груз, опускаясь вниз под действием силы, опускается все скорее, потому что сила все время направлена книзу. Возрастающее сопротивление пружины уменьшает равнодействующую силу, но до мгновения равновесия она все время направлена вниз, и силы, направленной кверху, гиря не встречает.

Что же из этого следует? Из этого следует, ни больше ни меньше, как то, что пружина и гиря к этому моменту будут обладать очень порядочной скоростью движения и на точке равновесия не о с т а н о в я т с я. При этом гиря, ничем не затормаживаемая, перейдет через точку равновесия,—значит, она растянет пружину еще сильнее. Опять груз гири все время будет равен 1.000 грамм вниз, но сопротивление будет теперь уже больше, чем 1.000 грамм. Теперь равнодействующая сила лезет кверху и на этот раз будет тормозить груз. Точка равновесия есть точка, через которую груз пройдет с самой большой скоростью; книзу от нее он начнет замедлять свою скорость, потому что тормозит сила пружины. Груз пройдет

еще такое же расстояние книзу от точки равновесия, какое он прошел до нее сверху. Вот что получится, если изобразить графически растяжение пружины грузом (рис. 11). Он пролетит через положение равновесия, и груз достигнет в два раза более низкого места. Но так как в том пункте, где груз наконец остановится, равновесия нет, то пружина начнет подтягивать груз обратно. Он вернется назад, но опять пролетит слишком быстро через положение равновесия. Словом, если пружина очень хороша (вы это, вероятно, наблюдали много десятков раз в вашей жизни), то пружина начнет просто качаться то вверх, то вниз. И, наконец, очень медленно колебания «затухнут» на уровне равновесия. Пружина остановится только тогда, когда вся работа первоначального падения груза израсходуется на трение. До тех пор, пока она не израсходована, эта работа будет выражаться в движении груза взад и вперед. А теперь перейдем к нашим мышцам.

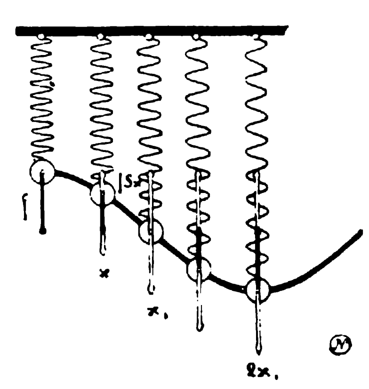


Рис. 11. Растяжение пружины грузом.

Белые стрелки, направленные кверху—напряжения пружины; стрелки, направленные вниз— сила тяжести груза; черные стрелки — равнодействующая обеих сил. x_1—положение равновесия (равнодействующая равна нулю).

Разница будет в том, что в мышце силы трения очень велики. Теперь давайте на чертежике рис. 12 изобразим, что будет дальше с мышцей, проделает ли она такое же колебание, как пружина, или нет. Я возьму несколько колебаний, чтобы было ясно. Вот что будет проделывать пружина, когда мы на нее подвесим груз и пустим. Трение внутри мышцы очень велико, и мышца будет растягиваться от нашего груза медленно, ее трудно «раскачать». Но кроме того, оказывается, что ее качания затухают гораздо быстрее: одно или два колебания, и мышца остановилась, она уже поглотила всю работу того груза, который ее раскачал. После очень короткого промежутка мышца нашла точку равновесия, остановилась на своей новой длине и уравновесила груз.

Мы должны условиться вот о чем. Когда я говорю: мышца уравновесила такой-то груз, это значит, что мышца напряжена

с силой, равной силе тяжести груза, подвешенного к ней. Сказать, что мышца уравновесила груз в 1 килограмм, это все равно что сказать: в мышце имеется напряжение в 1 килограмм. Но мышца обладает одним замечательным свойством, которым ни одна из наших искусственных пружин не обладает. Это свойство заключается в особом способе заряжения мышцы работой. Для пружины или для мертвой мышцы у нас есть единственный способ: взять мышцу (вырезанную у лягушки) и растянуть ее. Но оказывается, что у мышцы, которая сидит на своем месте в живом организме, есть другой способ заряжаться работой; такой способ, при котором ее растягивать не нужно. Этот способ заряжает мышцу за счет **внутренних процессов**, без всяких видимых движений. Способ этот отличает живую мышцу от тех двигателей, которые нам известны. Его называют **возбуждением мышцы**. Если через мышцу пропустить электрический ток, даже один единственный электрический разряд, то вдруг мышца подтянет груз кверху. Вы все знаете, что мышца сокращается, и ничего удивительного в этом нет, но механически это, оказывается, чрезвычайно удивительная вещь. Пусть мышца уравновешивает 1 килограмм. Теперь, если мышца подтянула груз кверху, значит, равновесие нарушилось, т. е. сила, направленная кверху, перевесила. Оказывается, мышца получила напряжение не в 1 килограмм, а больше,—скажем в $1^1/_2$. Откуда она взяла эти $^1/_2$ килограмма? Непонятно. Откуда мышца взяла работу на добавочное напряжение? Итак, возбуждение мышцы, которое получается, например, если пропустить через мышцу электрический разряд, заряжает мышцу работой не механическим способом, а как-то иначе.



Рис. 12. Как выглядят затухающие колебания пружины, выведенной из равновесия грузом. Совершенно сходно выглядит и затухающее колебание мышцы (рис. 13) только затухание там быстрее.

Надо обратить ваше внимание на то, что мышца, которая сокращается от возбуждения, например от электрического разряда, ведет себя точно так же, как это было с пружиной, обладающей большим трением. Мышца всегда и все время ведет себя, как пружина. Вся разница заключается единственно только

в том, что эту живую мышцу можно заряжать работой с помощью электрического процесса.

Живые мышцы человеческого организма заряжаются работой также при посредстве электрического толчка особого рода, но этот толчок передается через *нерв*. Как это происходит, поговорим позднее. При этом в мышце освобождается порция работы, но не от механического растяжения, а от сгорания некоторых частей мышечного вещества. Мышцу можно сравнить с двигателем внутреннего сгорания, скажем с мотором Дизеля; и в ней происходит сгорание топлива с освобождением работы.

Разберем с этой точки зрения мышечное сокращение. Пусть у нас опять будет взята мышца, вынутая из лягушечьего организма. Давайте мы вырежем ее вместе с нервом и с кусочком спинного мозга; она не сразу погибнет и можно будет произвести над ней опыт. Если к этой мышце подвесить маленький грузик и ее уравновесить, тогда тяжесть груза и напряжение мышцы будут равны между собой. Если вы пропустите электрический ток, то мышца сначала напряжется сильнее, оставаясь еще на мгновение той же длины, как и до возбуждения. В первое мгновение—одну или две сотых доли секунды—укорочение будет незаметно. Затем в следующее мгновение мышца начнет делаться короче, потому что ее напряжение пересиливает вес груза. Заметьте, что напряжение мышцы растет вместе с весом груза. Чем больше груз, тем больше напряжение. Значит, *при сокращении мышцы есть два последовательных момента, два последовательных события: сначала происходит напряжение мышцы, потом начинается сокращение, которое связано с расслаблением мышцы.* Мы называем эти события так: фаза напряжения (без движения), а потом фаза сокращения (с расслаблением мышцы).

Вот этой маленькой подробности вы не знаете, или она не приходила вам в голову. Мы так привыкли говорить о том, что мышцы напрягаются при движении, и никому не приходит в голову, что мышцы расслабляются, а не напрягаются во время работы. Когда мышце приходится двигаться, она расслабляется. Пока мышца напряжена, она не производит работы. Почему это происходит? Это будет ясно, если мы поняли подобие между устройством мышцы и пружины. А теперь перейдем к описанию

деятельности мышцы, ее сокращениям. Надо точно знать работу двигателя, чтобы разобраться в более сложных вещах.

Как происходит сокращение мышцы? Прежде всего укажу вам следующее. Мы сказали, что мышца возбуждается и получает заряд работы, когда она подвергается действию электрического тока или (электрическому же) воздействию нервов, которые подходят от центра—мозга—к этой мышце. В чем состоит возбуждение мышцы, наука точно не знает. Важно, что электрические явления в мышце определенно доказаны. Доказано еще кое-что. Оказывается, если каким-нибудь способом произвести мышечное возбуждение, то ее электрический заряд в это время меняется. Если вы соедините мышцу с гальванометром, то увидите, что как только точка мышцы возбуждается, то она получает отрицательный заряд. Важно знать, что здесь всегда есть какой-то внутренний ток, небольшой, всего около одной пятой вольта, не больше. Если вы вызовете возбуждение в какой-нибудь точке мышцы, то оно сейчас же разбегается в обе стороны по всей мышце, со скоростью, примерно, в десять метров в секунду, т.-е. со скоростью пассажирского поезда. Но зато обнаруживается, что в каждой данной точке мышцы возбуждение держится очень недолго, одно мгновенье, а затем мышца опять возвращается в свое прежнее спокойное состояние. Долгое время удержать мышцу в состоянии возбуждения нам никаким способом не удастся. Мышца может возбуждаться на одно мгновение, как будто бы вздрогнет и после этого сейчас же успокаивается.

Если вы будете измерять с помощью гальванометра, что происходит в мышце во время возбуждения, и соедините с гальванометром какие-нибудь две точки мышцы, тогда у вас получится вот что: пусть возбуждение началось в точке A. В этот момет точка A будет электро-отрицательна, а другая точка B—положительна. Спустя несколько сотых долей секунды возбуждение успеет перебежать из точки A в другую точку B. Тогда получится, конечно, обратная вещь: точка A станет снова нейтральной, точка B, теперь возбужденная, окажется отрицательной. Ток получает обратное направление. Следовательно, гальванометр сначала качнется в одну сторону, потом в другую. Если суметь записать, что происходит в данной точке мышцы, то очевидно запись покажет сперва спокойное состояние мышцы, затем колебание тока в одну сторону, потом в другую, и все успокаивается. Вот это колебание тока в возбужденной мышце

называется **током действия**. Оно всегда происходит, когда мышца возбуждается, и всегда чрезвычайно коротко.

Теперь вы мне задаете вопрос: как же так, мы можем показать на наших мышцах, что они работают в течение нескольких минут, а вы говорите, что они возбуждаются всего на одно мгновение? Правильно. Но происходит это, оказывается, совсем не так просто. Понятно, что если мышца получает такой короткий толчок возбуждения, какой, по моим словам, она только и может получить, то она не сможет сократиться длительно. Она может только вздрогнуть. Если вы пропустите через мышцу или ее нерв электрический ток, то мышца сделает вот что. Допустим, что мы подвесили мышце гирьку, а к ней присоединили пишущее перышко. Ясно, что теперь, если эта гирька опустится или поднимется, то перышко подвинется вместе с ней. Теперь очевидно, что если около перышка будет вертеться барабан, обтянутый закопченной бумагой, а в это время мышца будет двигаться, то перышко запишет кривую, изображающую сокращение мышцы. На рисунке 13 вы видите кривую вздрагивания мышцы. Пока она возбуждена, она может тянуть груз кверху. Но как только возбуждение пропало, начавшая сокращаться мышца оказывается в положении чрезмерно укороченном, и потому груз оттягивает ее опять вниз.

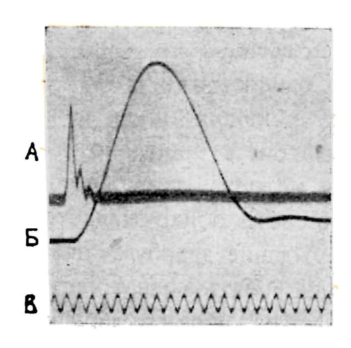


Рис. 13. А — кривая тока действия мышцы, Б—кривая вздрагивания мышцы, В — колебания камертона, отмечающего сотые доли секунды. Запись здесь фотографическая. (По Юдину).

Как же заставить мышцу сокращаться длительно? Оказывается, что для этого нужно возбуждать мышцу не один раз, а много раз. Длительно, непрерывно мышца сокращаться не может; она может сокращаться только толчками, и если толчки очень часты (раз 50 в секунду), они сливаются друг с другом.

Теперь перейдем к более тщательному разбору того, что происходит с живой мышцей. Мы установили, что нет способа получать у мышцы более длительного возбуждения, чем на несколько сотых долей секунды; и если мы ограничимся одним таким однократным возбуждением, то мышца вздрогнет, даст мгновенное вздрагивание. Видите, какая кривая и затем ничего. Воз-

буждение мышцы зависит от того, что при этом быстро разлагается часть вещества самой мышцы. Это вещество, разлагаясь, освобождает часть своей энергии, которая превращается в механическую энергию напряжения мышцы. Первый источник движущей силы мышцы — это химический процесс, своего рода сгорание внутри мышцы. Итак, наступает фаза напряжения. Если мы сумеем точно записать сокращение мышцы на тот же самый вертящийся барабан, на котором записываем одновременно и ток, которым мы возбуждаем мышцу, и ток действия самой мышцы, то мы точно увидим, как друг за другом следуют последовательные фазы мышечного сокращения. Мы можем сделать так, чтобы ток, который мы пропустили в мышцу, отметил момент начала своего действия на барабане. Оказывается, что в тот момент, когда ток проходит через мышцу, и в ней происходит возбуждение, мышца еще неподвижна. Чтобы сдвинуть с места какой-нибудь груз, нужна сила, которая должна продолжаться некоторое время. И вот, одну-две сотых доли секунды мышца стоит и затем только начинает двигаться. Однако, едва она пройдет очень малый путь, возбуждение мышцы уже кончается, но мышца не опадает, а продолжает двигаться, сперва укорачиваясь, потом снова удлиняясь, что продолжается 20—30 сотых долей секунды. За счет чего же она идет вверх? Ведь возбуждение уже прекратилось? Только за счет той инерции, того разгона груза, который она успела в первый момент получить. Она подпрыгивает еще немного кверху и возвращается обратно. Если мы на том же барабане (уже не закопченном, а оклеенном фотографической бумагой) запишем и ток действия мышцы, то получится еще нагляднее. Вы помните, что электрический ток, который пробегает через мышцу взад и вперед, точно соответствует по времени возбуждению мышцы. Как только ток прекратился, кончилось и возбуждение мышцы. Так вот, если мы запишем колебание электрического тока, которое началось в тот момент, когда мы возбудили мышцу, то эти колебания будут выглядеть, приблизительно, таким образом (рис. 13). Вы видите это колебание тока взад и вперед. Из рисунка вытекает, что как раз возбуждение мышцы всего сильнее тогда, когда она еще не вздрогнула, не успела сдвинуться с места. Почему такое расхождение во времени, почему вздрагивание после возбуждения? Я думаю, это вам достаточно понятно из того, что мы говорили в начале лекции.

Теперь представьте себе, что в то мгновение, когда мышца уже отчасти подскочила кверху, мы возбуждаем ее второй раз. Произойдет вот что. Так как первое возбуждение кончилось очень скоро, мышца успевает подскочить сравнительно не высоко и поэтому в этом новом положении, где ее застигнет второй электрический разряд, она будет сокращена немного. Значит, в этом новом положении свойства ее будут близко сходны со свойствами до начала первого возбуждения. Получится то, что мышца подскочит еще выше, при чем на почти такую же высоту, начиная от того места, где ее застигло второе возбуждение. Кривая получит вид, изображенный на рисунке 14. Теперь, если мы сообщим мышце третье возбуждение, то она подскочит еще выше. Если мы ей сообщим несколько таких толчков один вслед за другим, то окажется, что ее сокращение сделается более высоким, гораздо выше того, какое получалось за счет первого возбуждения. Если мы будем непрерывно раз за разом возбуждать мышцу, то кривая получит вид зубчатой линии: мышца поднимет груз на некоторую высоту, на которой она будет некоторое время дрожать, и только после прекращения наших последовательных возбуждений возвратится назад. Если мы начнем возбуждать ее раз 50 в секунду, то она не успеет опуститься после первого толчка, и кривая ее сокращения будет выглядеть уже гладкой; она станет давать такие незначительные колебания, что их нельзя будет рассмотреть на нашей записи. Следовательно, если вы мышцу раздражаете очень часто, то она длительно остается сокращенной, чуть-чуть подрагивая на достигнутой высоте.

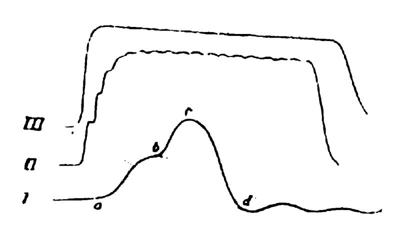


Рис. 14. I—Сложение двух последовательных одиночных сокращений. II—сложение многих сокращений, следующих быстро одно за другим. III—тетаническое сокращение. (По Ландуа).

Мы можем получить длительное сокращение мышцы только тогда, когда возбуждения следуют часто одно за другим. Если человеческая мышца испытывает 50 возбуждений в секунду, т.-е. 3.000 в минуту, то она дает такое плавное сокращение. Можно сделать на себе такой простой опыт. Достаточно крепко сжать свои собственные челюсти, чтобы услышать низкий скри-

пящий звук около ушей. Этот звук есть не что иное, как звук мышцы, которая служит для стискивания челюстей и помещается в области виска, близко к ушам. Но как раз, когда будете стискивать челюсти, вы создадите длительное напряжение мышцы. Эта мышца то сокращается, то расслабляется и дает очень мелкое дрожание, на ощупь незаметное, а на слух похожее на скрип. Если напрягать сильно какую-нибудь мышцу руки, то можно заметить дрожание, которое происходит от длительного мышечного сокращения. Если приложить ухо к мышце, которая находится в состоянии сокращения, то вы услышите низкий басовый звук. Это есть «мышечный тон».

Физиологи показали очень интересную вещь. Человеческая мышца никогда не проделывает в естественных условиях одиночных сокращений. Иными словами, нервная система, которая посылает в мышцы возбуждение, способна посылать только десятки возбуждений в секунду. Одно возбуждение, один толчок наша нервная система не умеет посылать; она умеет посылать только такие ритмические возбуждения. Значит, наши мышцы по велению нервной системы могут сокращаться только по описанному сейчас сложному типу, который получается от слияния очень часто следующих возбуждений. Мы называем это **тетаническим сокращением мышц**, или **тетанусом**. Только такие тетанические сокращения может получать мышца через нервную систему.

Искусственно вы можете заставить человеческую мышцу проделать и одиночное вздрагивание. Если через любую из наших мышц пропустить из индукционной катушки одиночный электрический удар, то мышца проделает самое настоящее единственное вздрагивание. Но сами вы произвольно можете получить только тетанус.

Теперь достаточно говорить о деятельности искусственно выделенной мышцы. Надо перейти к тому, как мышцы работают в условиях человеческого организма, разобрать, как они укреплены, как построены и как действуют. О строении мышечных волоконец мы уже говорили. Теперь надо сказать, что мелкие мышечные волоконца, подобранные параллельно друг с другом, погружены в довольно вязкую жидкость, которая сама по себе не принимает активного участия в движении мышцы, а служит как бы футляром для мышечных волокон. Общее строение мышцы вы можете себе представить так, что это есть пакет

с тонкими волокнами, которые окружены внутримышечной жидкостью, конечно, тонким слоем. Каждый пучок волокон одет, кроме того, в тонкий чехол, который отделяет его от соседнего пучка. Множество таких пучков расположено рядом друг с другом с небольшими промежутками между ними. Вся мышца в целом бывает одета футляром из такой же упругой ткани, только более прочным. Он также предохраняет ее и одевает со всех сторон. На концах мышцы, если взять ее всю целиком, поперечно исчерченные мышечные волоконца исчезают и постепенно переходят в сухожильные волоконца. Сухожильные волоконца отличаются чрезвычайно большой прочностью. Сами они пассивны и участия в вызывании движения не принимают, но служат для прикрепления мышц к костям или тем органам, которыми она должна двигать. Сухожильные волокна тоньше, чем мышечные; поэтому и сухожилие в целом обычно тоньше, чем его мышца. Слово мышца происходит от слова мышь; это именно от того, что она своим брюшком и тонким хвостиком напоминает мышонка. Как укрепляется мышца к тем органам, которыми ей приходится двигать, мы разберем уже в одной из следующих лекций; сейчас ограничимся только просмотром рисунков и вопросами по существу.

Лекция 3-я

Товарищи! Сегодня нам предстоит заняться разбором отдельных соединений человеческого тела и их подвижности. Мы будем все время ссылаться на то, что в первой лекции называли сокращенной схемой, но во многих случаях нам придется отвлекаться от такой упрощенной системы и рассматривать подвижность сочленений во всей их сложности. В особенности это понадобится нам, когда мы будем разбирать подвижность руки. Как вы увидите дальше, эта подвижность особенно разнообразна и сложна; а так как рука имеет громадную практическую роль во всякой работе, то ясно, что нам придется с особенной заботливостью изучить ее устройство.

Вы помните, что верхняя конечность присоединена к туловищу посредством двух костей — лопатки и ключицы — и большого количества мышц. Вся эта совокупность передаточных костей и мышц называется плечевым поясом. В следующих лекциях, когда мы будем говорить о мышечном оборудовании, мы разберем, каковы были причины, обусловившие именно такое устройство плечевого пояса; теперь пока примем его так, как он есть, и познакомимся с условиями его подвижности.

Плечевой пояс почти не имеет никакого костного закрепления. Одна из его костей, лопатка, вообще никак с туловищем не скреплена. Она соединяется только с ключицей маленьким, подвижным и непрочным сочленением. Ключица в свою очередь соединена таким же непрочным сочленением с грудинной костью, а последняя укреплена к позвоночнику опять-таки только косвенно, через посредство ребер. Таким образом плечо, которое стоит в сочленовной связи только с лопаткой, оказывается в необычайно дальнем родстве с опорным стержнем туловища.

Такая отдаленная связь и обилие промежуточных сочленений обеспечивают плечу совершенно исключительную подвижность. Что касается прочности подвеса, то она достигается исключительно за счет мышц.

Прежде чем обращаться к подвижности плеча, расследуем движения той кости, на которой оно висит, т.-е. лопатки. Лопатка плотно прижата мышцами к задней стенке грудной клетки и может двигаться, только прижимаясь к ней вплотную. Это значит, что ее подвижность относительно грудной клетки такова же, какова подвижность плоской пластинки на столе, т.-е. имеет три степени. Лопатка может перемещаться вверх и вниз, к середине и в сторону и, кроме того, еще поворачиваться вокруг самой себя.

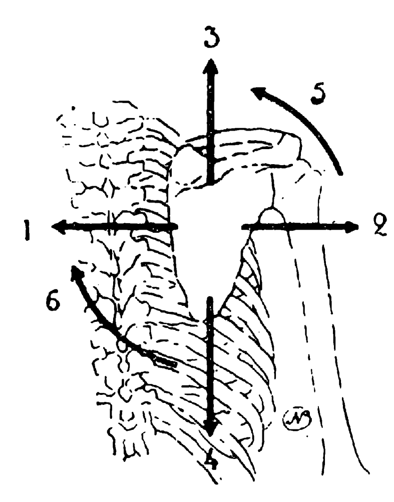


Рис. 15. Правая лопатка сзади и виды ее подвижности. 1—приведение, 2—отведение, 3—поднимание, 4—опускание, 5—вращение внутрь, 6—вращение наружу.

Будемте называть первый вид движений лопатки подниманием и опусканием, второй—приведением и отведением и третий—вращением лопатки. Все эти три вида движений лопатки вы можете удобно проследить на живом человеке. Правда, редко кто умеет по произволу производить все эти движения лопаткой, в особенности ее вращение. Так как один из углов лопатки (рис. 15) соединен с ключицей, а другой конец ключицы укреплен к грудной клетке почти неподвижно, то при всяком движении лопатки ключица будет поворачиваться в разных направлениях своим наружным концом. Вы можете наблюдать движения ключицы, если будете совершать движения областью плечевого сочленения, т.-е. тем, что в просторечии называется плечом.

Подвижность лопатки довольно велика. Ее нижний конец может смещаться на 16 см. и больше в сторону и на 10 см. вверх и вниз.

Теперь познакомимся с самым подвижным из всех сочленений человеческого тела, соединяющим лопатку с плечом. Это

сочленение обычно коротко называют плечевым. Как мы уже говорили раньше, это сочленение относится к трехстепенным. На рис. 16 вы видите, что оно относится к типу шаровых сочленений. Плечевая кость несет на верхнем конце головку в форме полушария, а лопатка имеет в своем верхне-наружном углу подходящей формы впадину. Вы видите из рис. 16, что впадина гораздо меньше плечевой головки. Это значит, что плечо может совершать качания с очень большим размахом, и все еще лопаточной впадине хватит места для соприкосновения с



Рис. 16. Рентгеновский снимок плечевого сочленения. Справа просвечивает плечевая кость с шаровой головкой, слева — лопатка с ее впадиной. Наверху виден еще ключичный отросток лопатки. (По Р. Фикку).

обширной шаровой головкой. Правда, зато уже о каких-нибудь закраинах или жестких скрепах не может быть и речи. Больше того, очевидно сумка сочленения должна быть очень податливой и широкой, чтобы дать дорогу большим размахам плечевой кости. Значит, закрепление сочленения поневоле слабое, и оно вывихивается легче всех других.

Разберемся как-нибудь в разнообразии движений плеча в этом сочленении. Заметим прежде всего, что обе лопатки по-

ставлены несколько наискось друг к другу, так что плоскость каждой из них обращена вперед и внутрь. Сочленовная площадка лопатки стоит под прямым углом к этой плоскости, т.-е. обращена вперед и наружу. Если мы будем поворачивать плечо в этом последнем направлении, т.-е. поднимать его вперед и наружу, то получившееся движение будет разгибание плеча. Противоположное этому движению, т.-е. опускание плеча в той же плоскости, будет называться сгибанием плеча.

Я попрошу кого-либо из товарищей выйти сюда на кафедру и показать, как он производит разгибание и сгибание плеча в одном только плечевом сочленении, т.-е. при неподвижной лопатке. Я попрошу также двух других товарищей наблюдать за его спиной и контролировать, неподвижна ли лопатка или нет.

Слушатели. Он двигает лопатками.

Лектор. Вы делаете не то, о чем я просил. Проделайте разгибание плеча при неподвижной лопатке. Обратите внимание, что наш испытуемый не умеет этого сделать. Однако это не значит, что у него двигательный недостаток; этого не умеет, может быть, никто из вас. Между тем такое движение вполне возможно. На нашем примере вы видите, как грубо и несовершенно владеет человек движениями важнейших частей своего тела. Попробуйте теперь удерживать лопатку нашего испытуемого неподвижно за ее нижний угол. Определите теперь, до какой степени он может разгибать плечо, не двигая лопаткой. Вот он довел руку до горизонтального положения. Смотрите, когда он разгибает ее еще выше, лопатка уже начинает поворачиваться, и ее уже нельзя удержать. Здесь виновато не его неумение обращаться с мышцами: он просто достиг границы подвижности своего плечевого сочленения. Если вы попытаетесь произвести движение плечом во всевозможных других направлениях, то окажется, что пределы подвижности плеча в каждом таком направлении составляют всего 100—110°; дальше уже начинает смещаться лопатка. Если бы вы закрепили лопатку совершенно неподвижно, а затем заставили бы плечо принять одно за другим все крайние пограничные положения, то конец плеча описал бы фигуру, похожую на круг (рис. 17). При неподвижной лопатке плечо может перемещать свой нижний конец в любую точку внутри этого круга, но выходить за его пределы оно уже не в состоянии. Этот круг как будто бы соединен неизменным образом с лопаткой, потому что границы подвиж-

ности плеча мы все время определяем относительно нее. Значит, для того, чтобы придать плечу какое-либо положение вне этого заколдованного круга, надо передвинуть в пространстве самый круг. А это можно сделать, только повернув соответствующим образом лопатку (рис. 17). Теперь мы понимаем, каким образом движение лопатки расширяет границы подвижности плеча. Какие движения лопатки расширяют границы разгибания и сгибания плеча? Не будем угадывать, а проверим лучше на живом примере. Заставьте испытуемого разгибать плечо и выясните, что происходит с лопаткой.

С л у ш а т е л и. Лопатка поворачивается.

Л е к т о р. При разгибании плеча она совершает поворот внутрь, при сгибании—наружу. Это и понятно: ведь разгибание и сгибание плеча совершается вокруг горизонтальной оси, направленной вперед и внутрь; значит, вспомогательными движениями лопатки будут те, которые совершаются вокруг оси, направленной точно так же. Вы видите, что с помощью лопатки плечо можно разогнуть градусов на 60 выше горизонтали.

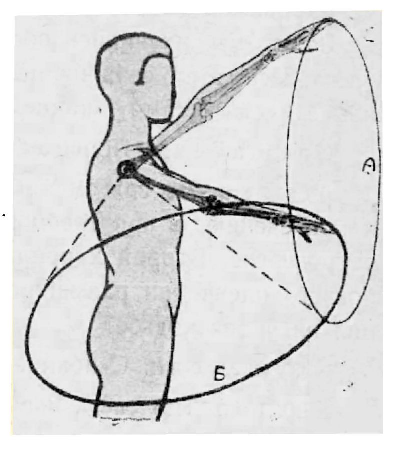


Рис. 17. Как влияют на границы подвижности плеча (Б) повороты лопатки. (По Моллиеру).

Перейдем к другому виду движений плеча. При разгибании его конец двигался по вертикальным кругам. Теперь разберем движения его по горизонтальным кругам, т. е. повороты плеча вокруг вертикальной оси. Это движение мы называем—п р и в е д е н и е и о т в е д е н и е плеча, на какой бы высоте мы его ни производили. Определите теперь, какие движения лопатки помогают этому виду смещения плеча. Вы замечаете, что приведение плеча сопровождается отведением лопатки, а отведение плеча—приведением лопатки. И здесь участие лопатки расширяет подвижность плеча градусов на 30.

Мы разобрали и наименовали движения плеча вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Очевидно, существует еще третья ось, перпендикулярная к обеим первым. Движения вокруг этой оси будут направлены вперед-внутрь и назад-наружу: как

раз такое движение плечами делают зимою извозчики, когда им холодно. Этот третий вид назовем антеверсией (вперед-внутрь) и ретроверсией (назад-наружу). Угадываете ли вы, что при этом должна делать лопатка?

Слушатели. Поворачиваться вокруг такой же оси.

Лектор. Это все так, но как же это выйдет? Пригласим-ка кого-нибудь из худощавых, не сильных товарищей. Я ему сделаю ретроверсию плеча насильно. Что происходит с лопаткой?

Слушатели. Нижний угол ее отгибается.

Лектор. Да, и посмотрите—как далеко. Я могу свободно подсунуть под его лопатку три пальца. У мускулистых людей такому отгибанию лопатки помешают мышцы, и потому у них размах ретроверсии несколько меньше.

Итак, мы научились обозначать очень многие из движений плеча. Испытаем себя на нескольких примерах. Когда человек плывет «саженками», какое движение плечом он делает?

Слушатели. Приведение и отведение.

Лектор. Не совсем так. При замахе это движение близко к приведению, а при гребном движении это есть почти чистая ретроверсия. Второй хороший образчик ретроверсии—движения правого плеча при размашном ударе кувалдой. А каковы движения плеч при ходьбе?

Слушатели. Сгибание?

Лектор. Нет, ведь плечи при ходьбе движутся прямо взад и вперед: значит, это движение будет промежуточным между сгибанием и ретроверсией.

Так вот, мы изучили движения плеча относительно трех взаимно-перпендикулярных осей. Из этих трех видов движений можно было бы составить, как промежуточные формы, все мыслимые для плеча движения в его трехосном сочленении. Рассказывать, как это сделать, было бы слишком долго; мы выделим лучше некоторые из промежуточных форм в особую группу и дадим ей еще особое название. Я говорю о поворотах плеча вокруг его продольной оси, которые мы будем называть ротацией плеча внутрь и наружу.

Общие границы подвижности, которые плечо получает, благодаря подвижности лопатки, очень велики. Каждый из вас может проверить их на самом себе; на рис. же 18 эти границы изображены чрезвычайно наглядным способом.

Перейдем теперь к нижележащим сочленениям руки. В первой лекции мы упоминали коротко о блоковидном сочленении между плечом и локтевой костью. Об этом одностепенном сочленении остается прибавить очень мало. Границы его подвижности составляют около 140°, и так как сильные мышцы и связки мешают размашистым движениям, то подвижность локтя у слабосильных людей, а также у детей и женщин, больше, чем у сильных мужчин. У женщин и детей часто встречаются разгибания локтя дальше, чем до одной прямой линии с плечом (переразгибание локтя).

Гораздо любопытнее устройство соединения плеча с другой костью предплечья—лучевой костью. На рис. 4 видно, что плечо несет на себе внизу, рядом с блоком, еще небольшой шарик. Верхний конец лучевой кости оканчивается как раз подходящей шаровой выемкой. Казалось бы, что при таком шаровом строении сочленения приходится ждать между лучевой костью и плечом трехстепенной подвижности. Действительность обманывает наши ожидания.

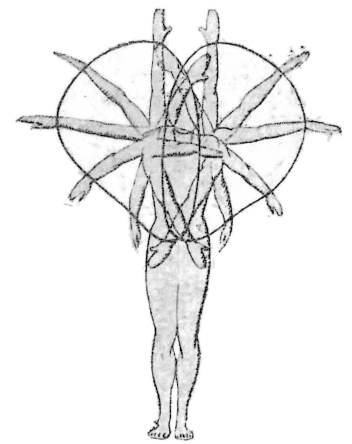


Рис. 18. Общие границы подвижности плеч. (По Моллиеру).

Лучевая кость кончается внизу около основания большого пальца руки; в этом месте прощупывается ее выступающий конец. Теперь последите за движениями лучевой кости при неподвижно закрепленном плече, и, ориентируясь на этот нижний выступ, определите, какие виды движений может выполнить лучевая кость, и сколько у нее степеней подвижности.

Прежде всего лучевая кость вместе с локтевой может участвовать в сгибании и разгибании локтя. Это будет первый вид ее движений. Во-вторых, она подвижна еще и относительно к локтевой кости, вдоль которой она лежит. Поворачивайте кисть ладонью кверху и снова вниз; вы увидите, что лучевая кость обползает при этом движении свою соседку—локтевую кость. Если точно проследить, то окажется, что ось этого движения проходит по предплечью почти продольно: она направлена от шарика на нижнем конце плеча к нижнему концу локтевой ко-

сти. Эта ось при выпрямленном локте лежит как раз на продолжении оси ротации плеча.

Описанный второй вид движений луча называется пронацией и супинацией. Мы делаем движение супинации, когда ввинчиваем в стену винт; противоположное движение вывинчивания винта есть пронация.

Вот уже два вида движений. Есть ли еще третий вид? Таким новым видом должно бы быть отгибание луча в сторону с отхождением его нижнего конца от локтевой кости. Но он привязан в запястьи этим нижним концом; поэтому третьего предоставленного ему вида движений луч не использует: фактически его подвижность двухстепенна. Движение пронации и супинации при выпрямленной руке всегда сопровождается также ротацией плеча, так как ось обоих этих движений общая. Здесь происходит то же, что и в случае плеча и лопатки: опять человек не умеет разделять двух сходных движений. А вот при полусогнутом локте то и другое движение разделить очень легко: в самом деле, пронация при этих условиях выразится попрежнему вращениями предплечья вокруг продольной оси, и ротация плеча заставит предплечье поворачиваться кругом него, как спица колеса. Всего яснее, может быть, движения предплечья вырисовываются из модели рис. 19. Из него следует, что луч мог бы и не быть сочлененным с плечом; ту же форму подвижности имел бы он, если бы был сочленен с одной только локтевой костью одностепенным сочленением. Лучевая кость есть в сущности далеко разросшийся назад отросток кисти: и у многих млекопитающих она и в самом деле не доходит до плечевой кости.



Рис. 19. Модель, изображающая способ укрепления лучевой кости (Л) к локтевой (л) и к плечу (П). (По Браусу).

Кисть руки соединена исключительно с лучом. В основании кисти лежат в два ряда мелкие косточки неправильной формы— так наз. запястье. Между верхним из рядов и лучом, а также между обоими рядами находятся одно за другим два сочленения: лучезапястное и межзапястное. Первое из них—яйцевидное (две степени подвижности); форма второго совершенно нескладная, по которой о подвижности ничего предсказать нельзя. Опыт показывает,

что оно тоже двухстепенно; поэтому мы подвижность обоих сочленений будем рассматривать за-одно. Если я буду удерживать предплечье нашего испытуемого у его нижнего конца, то вы убедитесь, что кисть может только качаться по всем направлениям, но не может совершать поворотов вокруг продольной оси. Проверьте на себе в свободное время, каковы границы подвижности вашей кисти в лучезапястном сочленении.

В самой кисти вместе с пальцами множество мелких сочленений (кисть состоит из 27 мелких костей), и разбираться в движении всех их нам не придется; это сделано подробно в моей книжке „Общая биомеханика". Здесь выделим коротко то, что нам важнее всего.

Соединения между кистью и пальцами (пястно-фаланговые сочленения), которые выступают на тыльной стороне кисти в виде бугорков, представляют собою опять шаровые сочленения. Пястные кости, которые лежат в мясистой части ладони и почти неподвижны одна относительно другой, имеют на дальних концах шаровые головки. Основные фаланги пальцев имеют соответствующие впадины. Между тем подвижность пястно-фаланговых сочленений только двухстепенна (как и между лучом и плечом). Вы можете активно, с помощью мышц, произвести сгибание—разгибание и приведение—отведение каждого пальца: правда, два последних движения в очень узких границах. Вращать палец вокруг продольной оси мы не умеем: у нас нет для этого подходящих навыков и подходящих мышц.

Пястно-фаланговое соединение большого пальца тоже шаровое, но совсем мало подвижное. Громадная подвижность большого пальца зависит от подвижности его пястной кости. Вы помните, что ее сочленение с запястьем имеет седловидную форму (рис. 6). Подвижность пястной кости большого пальца очень разностороння: именно, благодаря ей, большой палец может противополагаться всем остальным. Этот маленький факт немножко большей подвижности одной из косточек кисти имел, между тем, решающее значение для судеб всего человечества. Можно смело сказать, что благодаря этому устройству большого пальца, обусловливающему громадные разнообразия хватательных движений, человек впервые научился обращаться с орудиями и инструментами. На ряду с выпрямленной походкой, может быть, ни один биомеханический факт не имел для человека такого решающего культурно-исторического значения.

На этом мы покончим с сочленениями руки. О возможных для руки движениях мы будем лучше говорить дальше в связи с рассказом о мышцах руки. Теперь перейдем к подвижности головы, шеи и туловища.

Несколько слов стоит, пожалуй, сказать о подвижности нижней челюсти. Она соединена с черепом целыми двумя сочленениями, которые находятся по сторонам черепа под скуловыми дугами. По форме этих сочленений не видно, какова подвижность нижней челюсти. Здесь надо пробовать. Опишите сами как может двигаться ваша нижняя челюсть.

Слушатели. Можно открывать и закрывать рот.

Лектор. Это уже одна степень. Нет ли еще?

Слушатели. Вперед и назад.

Лектор. Есть. Еще одна степень. Все это или еще нет?

Слушатели. Все.

Лектор. А движения в стороны? Как видите, пара сочленений нижней челюсти дает настоящую трехстепенную подвижность. Вы можете наложить средние пальцы обеих рук на щеки, как раз у передних концов ушных мочек; в этом месте прощупываются сочленовные бугры нижней челюсти. Ощупайте на себе, что происходит с ними при движениях челюсти.

Интересный случай подвижности представляет собою голова. Ее подвижность очень велика, но зависит не от одного сочленения, а от нескольких, лежащих одно под другим цепочкой. Первое из них, соединяющее череп с первым шейным позвонком, относится к яйцевидным, следовательно дает голове две степени подвижности относительно шеи. Так как его впадина расположена горизонтально, то голове доступны в нем качания около любой горизонтальной оси, т.-е. наклоны вправо, влево, вперед и назад. Повороты головы в стороны осуществляются иначе. Первый шейный позвонок имеет вид кольца, которое положено на следующий нижележащий позвонок, снабженный торчащим кверху шипом. Первый позвонок лежит на втором, как на подпятнике, и может вместе с опирающимся на него черепом поворачиваться кругом шипа как раз в направлении третьего недостающего черепу вращения. Значит, подвижность черепа относительно подпятника имеет уже все три степени. Подвижность позвонков между собой зависит от гибкости межпозвоночных хрящевых прокладок, о которых уже говорилось раньше. Но кроме прокладок между позвонками (вернее, между позво-

ночными дугами) имеются еще настоящие сочленения, которые повышают прочность связи между позвонками, но зато уменьшают их подвижность. В общем и у позвоночника удобно различать три типа движений: наклоны вперед и назад, наклоны в стороны и скручивание. Нормально позвоночник имеет несколько изгибов, сохраняющихся в покойном стоячем положении. На рис. 1 видно, что шейные и поясничные части позвоночника обращены выпуклостью вперед, а грудная часть—выпуклостью назад. Свойство подвижности позвоночника таково, что он легко увеличивает существующие в нем выпуклости, и очень неохотно распрямляет их. Поэтому при изгибании позвоночника назад искривляются шейная и поясничная части, а грудная почти не меняет своей формы; при сгибании вперед искривляется, наобо-

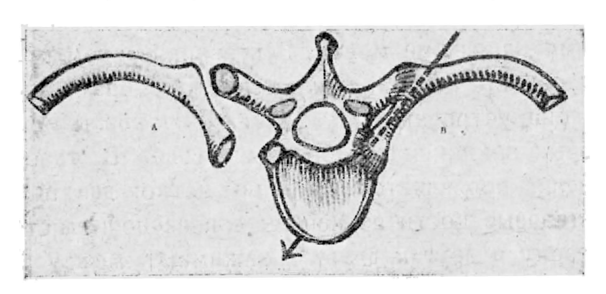


Рис. 20. Сочленения между позвонком и ребрами. Стрелка изображает ось, вокруг которой может качаться ребро. (По Моллиеру).

рот, грудная часть, а шейная и поясничная почти не распрямляются. Подвижность позвоночного столба при наклонах в стороны и при кручении сильнее всего выражена в шейной части, а слабее всего в поясничной.

С позвоночником, в его грудной части, соединены 12 пар ребер. Рис. 20 дает понятие о строении позвоночно-реберного сочленения. Как видите, с каждым ребром сочленение двойное. Поэтому, конечно, какова бы ни была форма сочленовных поверхностей, ребру доступны только качания вокруг оси, проходящей через центры обоих сочленений. Каждое ребро связано с позвоночником с одной степенью подвижности. Оси сочленений расположены так, что передние концы верхних ребер могут двигаться вверх и вниз, а передние концы нижних, кроме того, раздвигаться в стороны. Это и происходит при вдыхании и очевидно содействует расширению грудной клетки. Передние

концы всех ребер, кроме двух нижних пар, соединены хрящами между собою через посредство костяной перекладинки — грудинной кости. Очевидно, что при дыхательных движениях эти реберные хрящи различным образом мнутся.

Теперь надо обратиться к сочленениям ноги, но этого нельзя сделать без некоторого предисловия. Дело в том, что кости, сочленения и мышцы исполняют не только двигательную роль, а в первую очередь опорную. Как раз в способе соединения пояса нижних конечностей (иначе называемого тазовым поясом) с туловищем это обстоятельство имеет первостепенное значение. Обратимся опять к нашим четвероногим предкам.

У четвероногих млекопитающих должность всех четырех конечностей состоит в том, чтобы служить подпорками позвоночному столбу, перекинутому между передними и задними конечностями наподобие моста. В первоначальном плане и та и другая пара конечностей прилажены к опорам этого моста одинаково: они устроены и тут и там, как козлы, между рогатками которых заклинен позвоночный столб. В тазовом поясе такое строение проявляется особенно четко: две поверхности, которыми тазовые кости сочленены с позвоночным столбом, обращены кверху и друг к другу и зажимают между собой позвонки, как замок свода. Таз четвероногого есть и в самом деле свод.

Разберитесь слегка в механике сводовых сооружений. В своде тяжесть давит сверху на его среднюю часть (замок свода), давление передается далее по обеим сторонам на опоры свода. Если вообразить, что на месте замка имеется шарнир и обе половинки свода жестки, то давление на шарнир сверху будет передаваться ножкам свода в виде раздвигающего усилия. Ножки будут стремиться раз'ехаться в стороны. Для того, чтобы воспрепятствовать этому, ножки сводов строительных сооружений прочно врывают в землю. Разумеется, у животного, даже когда оно стоит как «вкопанное», ноги все-таки никуда не вкопаны, и надо укрепить их иначе. Укрепление достигается тем, что между ножками тазового свода, как раз под замком, помещается прочная сухожильная растяжка.

Плечевой пояс оборудован по-другому. Он не может уже непосредственно заклинить позвоночный столб, так как этому мешает каркас грудной клетки, втискивающийся между передними конечностями. Если представить себе, что передние и задние

конечности имеют одинаковую длину, то окажется, что позвоночник—место укрепления задних конечностей—лежит выше, чем их верхушки; наоборот, грудинная кость, к которой в конечном счете приходится прикрепляться передним конечностям, лежит ниже их верхних концов. Поэтому в то время, как задние конечности поддерживают позвоночник по типу арочного моста, передним приходится поддерживать грудную клетку по типу висячего сооружения. Потому-то между передними конечностями и туловищем и нет прямой жесткой связи. Их связь, как и подобает подвесному сооружению, исключительно мягкая и осуществляется мышцами и связками. О ней мы и будем говорить в следующих лекциях, когда дойдем до мышц.

Видите, как целесообразно приспособлен был таз для своей опорной задачи у четвероногих млекопитающих. У человека с его выпрямленной походкой вся эта структурная рассчитанность в сильнейшей степени пошла на смарку. Действительно, свод или арка выполняют свою задачу только при том условии, когда нагрузка арки, точки ее опоры, и нижняя растяжка лежат одни под другими. Теперь вообразите, что четвероногое стало на две задние ноги и повернуло корпус вместе с тазом на 90°, так что арка оказалась лежащей плашмя. Ясно, что в этом положении она не может отвечать своему назначению; ее пришлось поворачивать обратно.

И вот начинается ряд косвенных обходных попыток починить нарушенную целесообразность тазового пояса. Переустройство таза у человека сравнительно с четвероногими млекопитающими производит такое впечатление, какое произвела бы постройка, подвергающаяся поспешному лишенному плана и расчета ремонту. Во-первых, позвоночник в поясничной части круто выгибается вперед; вернее сказать, таз вместе с крестцовой частью позвоночника круто отклоняется назад, стремясь занять свое прежнее положение арки. На рис. 1 первой лекции виден получившийся при этом громадный горб позвоночника, выпячивающийся внутрь таза. Нечего и говорить, сколько затруднений принес этот неудачный ремонт для механизма родов. Череп у ребенка человека больше, чем у четвероногих, а проход для него получился искривленный и тесный.

Но и этим поворотом таза положение еще не исправилось окончательно. Растяжка таза так и не смогла оказаться под местом наибольшего давления. Тогда соответственно этой ока-

завшейся впереди растяжке сильнее развились еще растяжки сзади между тазом и крестцом. Эти растяжки убили подвижность крестца и этим внесли новую помеху для родового акта. В результате всех этих неудач таз человека представляет собой, как сооружение, нечто довольно сложное, и ближе на его статических свойствах мы останавливаться не будем. Мне важно было дать вам понятие о механике развития тазового пояса в том виде, в каком он представлен у человека.

По обеим сторонам человеческого таза лежит по сочленовной впадине для бедер. Я уже говорил, что тазобедренное сочленение относится к шаровым (рис. 5), и потому по вопросу о его подвижности нам пришлось бы повторять многое из того, что мы уже говорили о сочленении плечевом. Разница между обоими главным образом в том, что подвижность тазобедренного сочленения значительно меньше. Причин для этого две.

Во-первых, лопаточная площадка плечевого сочленения очень мала, и потому плечевая головка может скользить по ней в очень широких границах, не встречая закраин. Тазовая впадина тазобедренного сочленения охватывает больше, чем целое полушарие. Единственный раз в анатомии человеческих суставов здесь головка сочленяемой (бедренной) кости вправду захвачена жестко.. Широкая головка бедра покрыта хрящом, примерно, на три четверти полного шара; значит, для ее подвижности остается свободной только четверть шара, т.-е. 45° в каждую сторону или всего для каждого направления движения 90°.

Вторая причина та, что движениям плеча помогает собственными движениями весь плечевой пояс: и лопатка и ключица. Таз человека совершенно лишен всякой внутренней подвижности; бедро может пользоваться только теми границами подвижности, которые дает ему тазобедренное сочленение.

Поле подвижности бедра расположено так, что бедро может порядочно смещаться вперед и наружу и очень мало—назад и внутрь. Так как границы подвижности в сильной степени определяются податливостью сумочной связки, которая при крайних положениях натягивается, то получается, что в стоячем положении, когда бедро находится близ задней границы своей подвижности, сумочная связка тазобедренного сочленения довольно сильно натянута. Такое натяжение оказывается полезной вещью. Центры тазобедренных сочленений приходятся несколько впереди от того места, где туловище опирается на таз. Следо-

вательно, туловище в силу тяжести стремится завалиться назад. Вот этому-то опрокидыванию и препятствует натяжение связки. На рис. 21 изображено, как эта связка закручена спиралью вокруг верхнего конца бедренной кости и этим помогает равновесию туловища. О коленном сочленении нам придется сказать не так много. Мы уже описали его своеобразное устройство с хрящевыми вогнутыми прокладками. Остается прибавить, что суставы человеческой ноги стали особенно массивными с тех пор, как двум ногам пришлось нести на себе нагрузку, ранее распределявшуюся на четыре. В связи с этим коленное сочленение очень широко—это самое громоздкое из человеческих сочленений—и рассчитано на большие нагрузки. Несмотря на упругие прокладки, оно имеет почти точно одну степень подвижности: сгибание и разгибание. Но связки коленного сочленения, рассчитанные на особую прочность при стоянии, т.-е. при выпрямленном колене, несколько расслабляются при колене согнутом, и тогда сочленение приобретает еще одну степень подвижности—вращаемость голени вокруг ее продольной оси. В нижней конечности нет ни перекреста обеих костей дальнего отрезка (а почему его нет, было рассказано в первой лекции), ни чего-либо похожего на механизм пронации и супинации. У человека вторая кость голени—малая берцовая—имеет вообще ничтожное механическое значение. Она очень тонка, не может удержать тяжесть туловища, и если переламывается большая берцовая кость, то обыкновенно вслед за ней ломается и малая. Малая берцовая кость не стоит ни в какой связи с коленным сочленением, а с нижележащим голеностопным соединена только второстепенным образом. Она есть вообще явный сверхштатный сотрудник.



Рис. 21. Правое тазобедренное сочленение сзади, очищенное от всех облегающих его мышц, чтобы можно было видеть связку, закрученную спиралью. (По Шпальтегольцу).

Прежде, чем говорить о соединении между голенью и стопой, надо сказать несколько слов о механическом устройстве самой стопы. Стопа так же, как и многие из уже рассмотренных конструкций, представляет собой свод. Его строение удобнее всего понять из рис. 22. В сущности это даже не один, а два смежных свода. Вершиною для обоих сводов служит одна и та же надпяточная кость. Задняя подпорка у обоих сводов тоже одна: это есть уже упоминавшаяся пяточная кость, которая кончается сзади большим, далеко выступающим назад бугром. К переднему же концу оба свода раздваиваются: один кончается основанием большого пальца, другой—основанием мизинца. Первый свод более высок и упруг; он отпечатывается (если ступить босой мокрой ногой на пол) только своими кончиками. Наружный свод более плоский и отпечатывается всегда сплошной полосой. Упругость ноги при ходьбе и стоянии зависит, главным образом, от свода «большого пальца»; им определяется то, что называют под'емом стопы.

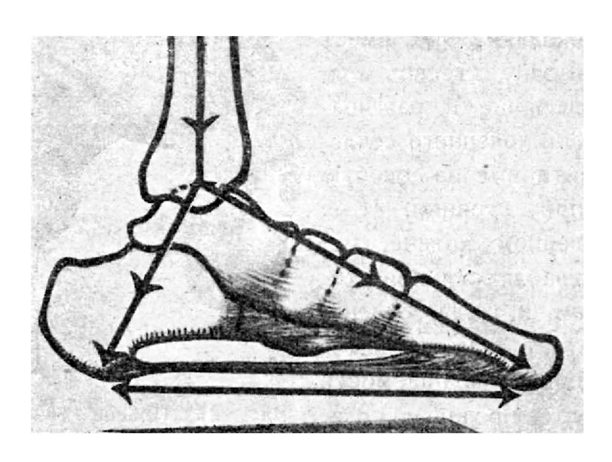


Рис. 22. Свод, образуемый костями стопы, и его сухожильно-мышечная растяжка. (По Моллиеру).

Растяжкой своду стопы служит крепкая сухожильная пластинка, лежащая на подошвенной стороне и соединяющая пяточный бугор с основаниями пальцев. Ей помогают и сильные мышцы, расположенные рядом с нею.

Вся стопа, как и кисть руки, состоит из многих мелких костей, но взаимной подвижностью многих из них мы смело

можем пренебречь. Существенны для нас движения в сочленениях между надпяточной костью и соседними с нею костями.

Сверху надпяточная кость сочленена с большой берцовой (голеностопное сочленение). Это настоящее блоковидное сочленение с одной степенью подвижности; с его помощью стопа может поворачиваться вокруг поперечной оси, т.-е. носком прямо кверху и прямо вниз. Это движение мы зовем сгибанием и разгибанием стопы.

Снизу та же надпяточная кость соединена с двумя костями внутреннего свода стопы. На наружный свод тяжесть тела передается не непосредственно, а через внутренний. Это нижнее сочленение (неправильно называемое нижним голеностопным) обладает тоже одной степенью подвижности. Его ось проходит наискось; с его помощью стопа подворачивается внутрь и наружу. При обыкновенной рабочей стойке, для рубки зубилом или опиловки, передняя (левая) стопа движется в верхнем голеностопном сочленении, т.-е. сгибается и разгибается; задняя (правая) движется в нижнем сочленении. Это последнее движение называют часто пронацией и супинацией стопы. В общей сложности, следовательно, стопа имеет по отношению к голени две степени подвижности.

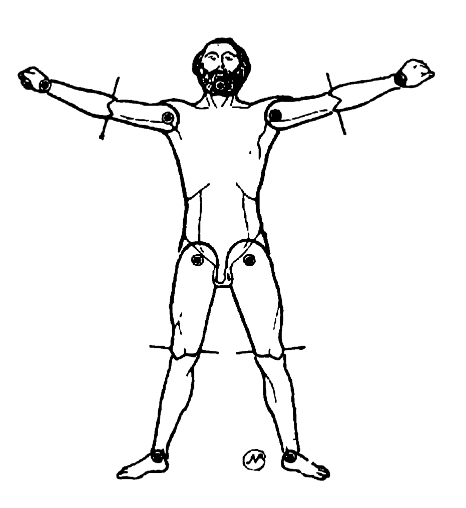


Рис. 23. Сокращенная схема тела. Об'яснения см. в тексте.

Просмотрим в заключение бегло, как выглядят разобранные нами в этой лекции сочленения в сокращенной схеме тела (рис. 23). Первые сочленения всех четырех конечностей (плечевые и тазобедренные) относятся к трехстепенным—это обозначено на рис. 23 двойными кружками. Вторые сочленения (локтевые и коленные) одностепенны, имеют только подвижность сгибания и разгибания. Третьи сочленения, лучезапястные и голеностопные, двухстепенны. Наконец, где-то на протяжении вторых отрезков конечностей (предплечий и голеней) сосредоточено еще по одной степени подвижности: пронация и супинация

кисти и продольные вращения голени. Это последнее движение в сокращенной схеме удобнее отнести тоже к третьим сочленениям. Тогда сочленения сокращенной схемы окажутся расположенными очень симметрично и правильно: и на ногах и на руках первые и третьи сочленения будут иметь по три степени подвижности, средние сочленения—по одной степени. Наконец, голова, как мы помним, имеет относительно шеи также три степени подвижности, слагающиеся из двух степеней верхнего сочленения и одной степени нижнего. При изучении человеческих движений мы будем постоянно принимать в расчет именно такое слегка упрощенное распределение подвижности.

В следующей лекции мы перейдем к разбору того, как описанный нами сейчас шарнирный манекен человеческого скелета снабжен мышцами и как он ими обслуживается.

Лекция 4-я

Товарищи! Вам всем случалось, вероятно, видеть анатомические картинки, на которых бывает нарисован человек без кожи, во всех направлениях покрытый разнообразными мышцами. Может быть, вам и не приходилось задумываться над тем, почему эти мышцы распределены именно так, а не иначе, почему их очертания так запутаны и прихотливы. Между тем это вопрос, который непременно поднимается перед каждым студентом, который, приступая к анатомии мышц, с первых шагов видит себя поставленным перед необходимостью тяжелой зубрежки. Естественно спросить, неужели в этой путанице разнообразных мышечных форм нет никакого упорядочивающего закона, который дал бы возможность взять здесь не только памятью, но и пониманием? Вот мы и будем пытаться сегодня вывести такие законы и вскрыть биомеханический смысл существующего у человека распределения мышц.

Во второй лекции мы говорили по преимуществу о свойствах и способах работы простейшего мышечного двигателя—мышечного волоконца. Вы помните, что каждое такое волоконце, имеющее в поперечнике много меньше, чем тонкий волос, есть настоящий законченный двигатель, снабженный собственным нервом и способный сокращаться вполне самостоятельно. Но мышцы человека представляют собою не просто груду таких волоконец, нагроможденных без порядка и смысла. Наоборот, группы волоконец собраны в более крупные организованные единицы—то, что обычно называют мышцами—и притом сорганизованные в разных случаях очень различным образом. Разберем сначала основные встречающиеся здесь типы монтажа мышечных волоконец.

Уже сравнительно небольшие группы мышечных волоконец, проложенных рядом друг с другом, об'единены вместе упругими футлярчиками, образуя, таким образом, первичные мышечные единицы. По нескольку таких единиц собираются обычно вместе опять-таки в общем чехле; наконец, каждая целая мышца бывает одета с поверхности таким же точно упругим чехлом в виде рукава, в некоторых случаях усиленным еще особенно прочными сухожильными волокнами. Способы и порядки, в которых первичные мышечные единицы бывают собраны в целую мышцу, довольно разнообразны.

Представьте себе одно мышечное волоконце длиною, например, в 10 см. Допустим, что такое волоконце может поднять тяжесть одной песчинки на высоту 5 сантиметров. Так как работа измеряется произведением веса груза на высоту под'ема этого груза, то приведенными сейчас данными мы определили нечто, что можно назвать работоспособностью мышечного волоконца (я не указываю точных цифр, к тому же разнообразных, потому что это в дальнейшем нам не понадобится). Вообразите теперь второе волоконце тех же размеров и того же устройства, как и первое. Надо полагать, что и его работоспособность выразится в под'еме такой же песчинки на ту же высоту. Понятно, что если мы поставим оба волоконца рядом, то они оба вместе смогут поднять на ту же высоту (5 см.) груз, равный весу двух песчинок,—попрежнему по песчинке на каждое. Отсюда выводим: если об'единять волоконца в параллельный пучок, ставить их бок-о-бок, то увеличивается груз, который этот пучок может поднять, а высота под'ема остается тою же, как у каждого отдельного волоконца. Тысяча волоконец, все того же размера и свойства, поднимут на 5 см. груз в тысячу песчинок. Мы выразим это так: под'емная сила мышечного пучка (сила ведь как раз и измеряется грузом) пропорциональна площади поперечного разреза пучка.

Наше исходное волоконце втаскивало свою песчинку на высоту 5 сантиметров, т.-е. на половину своей первоначальной длины. Возьмем теперь другое волоконце с такими же точно свойствами, но уже в 20 сантиметров длиною. Раз свойства этого нового волоконца те же, то и грузопод'емность его будет та же—одна песчинка. Раз свойства его те же, то и оно сможет втянуть свой груз на половину своей первоначальной длины. Эта последняя величина составит, однако, в данном примере уже

10 см. Следовательно, вдвое более длинное волокно тоже дает увеличение работоспособности вдвое, но уже на этот раз не за счет увеличения груза, а за счет увеличения высоты под'ема. Это второе наблюдение обобщим так: высота под'ема пропорциональна первоначальной длине мышцы. Отсюда же выведем и такое (приблизительное) заключение: произведение груза на высоту под'ема пропорционально работоспособности мышцы произведение площади поперечного сечения мышцы на ее длину примерно пропорционально ее об'ему. Значит, в свою очередь работоспособность мышцы пропорциональна ее об'ему, иначе говоря,—содержащемуся в ней количеству мышечного вещества.

Не всегда работа, требуемая от мышцы, имеет одинаковый характер. Иногда требуется подтягивать на небольшую высоту или просто держать на весу значительный груз; иногда, наоборот, вопрос стоит о поднимании малого груза на значительную высоту. Сообразно с этими противоположными задачами мышцы человеческого тела можно грубо разбить на два различные класса.

К одному из этих классов придется отнести короткие и толстые мышцы, обладающие большой силой и малым размахом действия. В наиболее простом случае такие мышцы выглядят, как широкие пластинки коротких параллельно расположенных волоконец. Эти мышцы располагаются по преимуществу в тех местах, где требуется постоянное стойкое напряжение значительной силы. Мышца такого типа (ромбовидная) играет важную роль в подвесе лопатки и плечевого пояса. Иногда расположение волоконец таких мышц несколько меняется: они попрежнему коротки и параллельны друг к другу, но уже проложены наискось. Одними концами они начинаются от какой-нибудь длинной кости, а другими прикреплены к длинному собирающему сухожилию в виде шнура, которое об'единяет на своем конце силу всех отдельных волоконец. Таким образом вся мышца приобретает форму половины пера. Встречаются и двухсторонние перистые мышцы.

Другой класс мышц содержит в себе длинные и не толстые мышцы. Самый простой пример такого рода—это мышца, которая соединяет сосцевидный отросток черепа (под ушной мочкой) с грудинной костью. Эта мышца выступает ясно на боковой стороне шеи, если повернуть голову в противоположную сторорону и притом наклонить ее вперед (рис. 24). Эта мышца имеет

в длину см. 20—25 и вся состоит из длинных параллельных волокон. Способ ее работы совсем иной, чем у мышц первого класса: она не очень сильна, ее силу можно легко преодолеть, если поворачивать голову рукой; и больше того, неосторожным движением можно повредить ее, вызвать растяжение («свернуть шею»). Зато размахи ее движений очень велики. Благодаря паре этих мышц голова обладает большой поворотливостью.

В разных случаях эти длинные и тонкие мышцы приобретают также разные формы. Здесь, как кажется, все зависит от места начала и прикрепления мышцы, т.-е. от второстепенных обстоятельств. Очень часто такие мышцы имеют форму веретена или форму веера, волокна которого начинаются на широкой поверхности кости и потом собираются с разных сторон в одно тоненькое концевое сухожилие. Среди таких мышц попадаются и более своеобразные формы с двумя головками, с двумя брюшками, с сухожильными перемычками посредине, но в эти подробности мы сейчас входить не будем. Общая картина такова, что мышцы первого класса можно бы сравнить с товарным паровозом, с широкими цилиндрами и маленькими колесами, рассчитанными на тихий ход и большую силу тяги. Мышцы второго класса скорее подойдут к типу паровоза-экспресса.

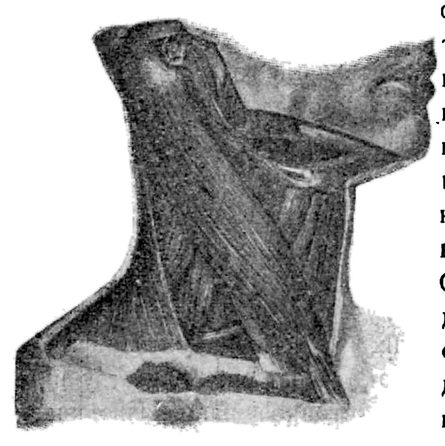


Рис. 24. Мышцы шеи с правой стороны. Во всю длину рисунка наискось тянется мышца, наклоняющая голову (грудинно-ключично-сосковая мышца). (По Шпальтегольцу).

Это простое и изящное разделение в жизни проведено, однако, не так уже строго. Вы помните, что работоспособность мышцы зависит от ее об'ема, а не от формы. Вы знаете из механики, что один вид работы можно превратить в другой вид без потерь и притом самым простыми механическими средствами—например рычагом. Если к одному концу рычага, лежащему ближе к точке опоры, приложить большую силу, то ее может уравновесить и даже преодолеть малая сила, если она приложена до-

статочно далеко. При прямолинейном рычаге равновесие, т.-е. равнозначность двух сил, достигается тогда, когда произведения этих сил на длины плеч рычага (так наз. моменты сил) равны между собою. При этом еще, когда малая сила заставляет свое плечо пройти большой путь, то уравновешивающая ее на другом конце большая сила проходит вместе со своим плечом малый путь. Сам собою напрашивается вывод, что если к одному и тому же рычагу присоединить две мышцы из обоих классов, то одна из них при целесообразном расположении сможет прекрасно уравновесить другую, а значит, и заменить другую. Из этого, в применении к мышцам, мы выведем такое следствие, имеющее первостепенную важность: две мышцы могут вполне и во всех отношениях заменить одна другую, если их моменты относительно оси данного рычага равны.

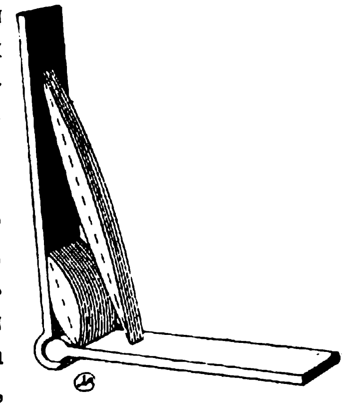


Рис. 25. Эти две (схематически-изображенные) мышцы механически совершенно равнозначны друг с другом.

Рычагами для мышц служат кости. Поэтому можно вынести суждение о том, на что способна данная мышца, только в том случае, если принять во внимание, кроме ее размера и формы, еще и плечо того рычага, на который ей приходится действовать, т.-е. расстояние точки прикрепления ее сухожилия от оси сочленения. На рис. 25 вы видите, что короткая и толстая мышца при подходящем расположении может полностью заменить длинную и тонкую мышцу.

Вообразите себе, что на кисть руки положен груз в 1 килограмм. Каждый из вас способен, конечно, сгибанием локтя поднять не 1 килограмм, а вероятно 10—15. Длина предплечья у обыкновенного нормального человека около 25 см. Расстояние от лучезапястного сустава до центра кисти около 10 см. Значит, длина предплечного рычага до точки, в которой находится груз, составляет около 35 см. у взрослого мужчины. Теперь второе плечо рычага, которое простирается от точки вращения рычага к тому месту, где прикреплена мышца, не бывает больше 5 см. Значит, оно в 7 раз короче, чем плечо, на котором держится груз. Здесь, следовательно, имеется рычаг второго

рода. Точка опоры у него в локтевом сочленении; одна сила действует на расстоянии 5 см., другая на расстоянии 35 см. Сила груза, которая действует вниз, скажем 1 килограмм. Теперь спрашивается: какова должна быть сила мышцы для того, чтобы уравновесить этот килограмм? Вот вам маленькая задача. Одно плечо 5 см., другое—35 см. Какая сила должна быть здесь?

Слушатель. 7 килограмм.

Лектор. Представьте себе, что один из вас на своей кисти руки держит пудовую гирю. Сильный человек это может сделать. Будем считать ее за 16 килограмм. Это соответствует силе напряжения мышцы в 112 килограмм, т.-е. около 7 пудов. Стало быть мышца в общей сложности способна развивать гораздо большее напряжение, чем мы привыкли думать. Давайте решим еще одну маленькую задачу из той же области. Для этого придется немного упростить те отношения, которые в действительности существуют. Берем опять то же самое локтевое сочленение. Я позволю себе его нарисовать совсем схематично. В этом локтевом сочленении работают содружественно не одна мышца, а целых две. Одна из этих мышц—двуглавая—идет более поверхностно; я ее рисую схематически в виде стрелки. Другая мышца, которую на себе прощупать трудно, лежит гораздо глубже, но расположена, приблизительно, параллельно первой, так, как другая стрелка, которую я рисую. Я изображаю их в виде большой стрелки и маленькой. Надо сказать, что человек не умеет напрягать одну мышцу в отдельности и оставлять остальные в покое. В дальнейших лекциях мы убедимся, как мы плохо пользуемся нашими мышцами и как мало у нас в этом смысле ловкости. Также не умеем мы отдельно пускать в ход двуглавую и внутреннюю плечевую мышцы. (Конечно, если бы мы приложили электрические проводники—электроды—к этим мышцам и пустили бы через них ток, то они могли бы сократиться по отдельности). Предположим, однако, что мы сами сумели пустить в ход одну и другую мышцу по отдельности. Теперь давайте решать такую задачу. Будем считать, что плечо рычага, с которым соединена внутренняя плечевая мышца, в три раза меньше, чем плечо рычага двуглавой. Во сколько раз сильнее или слабее должна напрячься короткая мышца, чем длинная, для того, чтобы уравновесить тот же самый груз?

Слушатель. Сильнее в 10 раз.

Лектор. Вы думаете в 10 раз? Давайте разберем. Значит, плечо груза попрежнему 35 см. Плечо двуглавой мышцы—5 см. Плечо короткой мышцы втрое меньше, стало быть $^5/_3$ см. Во сколько раз короткая мышца должна напрягаться сильнее, чем двуглавая? (Слушатель затрудняется ответом). Представьте себе еще цифру. Здесь груз в 1 кгр. Каково будет напряжение каждой из мышц, если они работают в одиночку? Ну, скажем, напряжение двуглавой приблизительно 7 кгр. Напряжение плечевой 21 кгр.—значит, в три раза больше, чем напряжение двуглавой мышцы. Мы убедились в том, что человек, который может поддерживать пуд на вытянутой руке, может напрягать свою двуглавую мышцу приблизительно до 100 килогр. Стало быть предельная сила составляет 100 кгр. Если бы внутренняя плечевая мышца способна была тот же самый груз поддержать на вытянутой руке (на самом деле она не может, но если бы могла), то какое напряжение потребуется для этого? Двуглавая 100 кгр., а внутриплечевая?

Слушатель. 300.

Лектор. 300 кгр. Теперь представьте себе, что у нас есть какая-нибудь возможность сфабриковать искусственную мышцу. Возьмем в качестве костей 2 дощечки, соединим их шарниром, натянем между ними искусственную мышцу, которая и должна изображать двуглавую. Соорудим ее таким образом, что эта мышца будет способна уравновесить пудовый груз на конце дощечки, т.-е. будет способна развить силу в 100 кгр. Теперь я предлагаю спроектировать такую мышцу, которая могла бы дать напряжение, необходимое для поддержания одного пуда, будучи расположена, как внутренняя плечевая. Какой она должна быть длины и величины и т. д., чтобы выдержать 300 кгр.? Во сколько раз она должна быть толще?

Слушатель. В 3 раза.

Лектор. Ясно, она должна быть в три раза толще. А во сколько раз короче?

Слушатель. В три раза.

Лектор. Теперь об'ем. В какой из двух мышц количество мышечного вещества должно быть больше или меньше?

Слушатель. Больше... меньше.

Лектор. Почему больше?

Слушатель. То же самое.

Лектор. Конечно, то же самое. Почему? Потому, что работа все равно будет одной и той же. Какую бы мышцу мы ни взяли, работа будет зависеть только от того, сколько мышечного вещества мы пустили в дело. Здесь мы рассчитали совершенно верно, что они будут одинаково работоспособны, если они будут одинакового об'ема. Я вам порекомендовал несколько книжек; в одной из них, очень хорошей книжке И. М. Сеченова (Очерк рабочих движений человека), высказано то же, о чем мы сейчас говорили. Но там говорится, что короткая и толстая мышца существенным образом отличается от мышц длинных и тонких. Мы с вами видели, что они действительно отличаются, но только тогда, когда мы им предлагаем непосредственно подтягивать груз. Если же они монтированы для работы по закону рычага, то картина получается другая. Короткую и толстую мышцу можно заменить длинной и тонкой, если мы ее соответствующим образом расположим. Появление толстых мышц или тонких зависит большей частью от того, каковы общие условия работы мышцы, где она расположена, где ей удобно находиться и т. д.

Обратимся теперь к тому, как мышцы обслуживают целые сочленения с разными степенями подвижности. Как вы помните, во второй лекции говорилось, что мышца во многих отношениях похожа на цилиндр двигателя внутреннего сгорания. Кстати сказать, сходство это выдержано и для только что разобранного разделения мышц на два класса. Каждый из вас, кто имел дело с автомобилями, знает разницу между значением поперечного сечения цилиндра и хода поршня. Ту роль, которую для мышц играет длина плеча рычага, для автомобильного двигателя берет на себя передача и коробка скоростей. Но сходство сохраняется и в том отношении, что и мышца и поршень автомобильного цилиндра могут производить активное движение только в одном направлении, а для обратного направления нуждаются в посторонней силе. Иногда (в одноцилиндровых двигателях мотоциклов) такой посторонней силой служит маховик; в наших опытах с мышцей во второй лекции мы для той же цели пользовались растягивающим грузом. Гораздо удобнее, однако, составить двигатель из двух противоположно действующих половин. В многоцилиндровых двигателях внутреннего сгорания разные цилиндры помогают друг другу тем, что когда один совершает свое активное движение, он в то же время по-

могает сотоварищам, соединенным с ним через общий вал, произвести их пассивную часть движения (насосать смесь и сжать ее). Так же артелями с'организованы повсюду и мышцы. Они размещены по разным сторонам сочленения так, что если одна из них совершает поворот сочленения в каком-либо одном направлении, то остальные своими активными сокращениями способны повернуть ту же часть тела обратно. Такие группы мышц противоположного действия носят специальное название мышц-антагонистов, но это название, как мы, может быть, увидим еще и в этом курсе, очень неудачно. Для биомеханика существенно не то, что эти мышцы суть как бы противники между собой, а, наоборот, то, что они артельным, коллективным порядком участвуют вместе в совершении каждого данного движения. Как располагаются члены таких артелей, можно будет понять, однако, только после того, как мы взглянем на роль мышц с совсем новой стороны.

До сих пор мы упорно и постоянно смотрели на мышцы исключительно как на двигатели. Между тем основная роль (и может быть, самая старинная роль) мышц состоит в том, чтобы служить неот'емлемой строительной частью тела животного, необходимой для его прочности. Возьмите часового, стоящего в совершенно окаменевшей позе перед каким-нибудь памятником или дворцом. Где же тут движение? Он застыл, как кукла, а между тем, попробуйте-ка поставить в такой же позе голый костный скелет. В последнем налицо все те же жесткие части, что и в живом часовом, однако без целого ряда подпорок скелет стоять не будет: он рухнет. Вся разница в том, что у живого человека и для неподвижного стояния мышцы нужны ровно в такой же мере, как и кости. Они суть неизбежный статический элемент человеческого сооружения.

Возьмем, пожалуй, еще пример. Мышцы суть мягкие растяжки, как уже было сказано. Такими же нежесткими растяжками являются канаты висячего моста. Попробуйте-ка перерезать эти канаты; вы этим не убавите ни одной жесткой части, между тем автомобилям и поездам, проходящим в этот момент по мосту, придется плохо: они выкупаются в реке. Относительно канатов это всем очень хорошо известно, и потому за покушение на их перерезку человек попадет в милицию. Относительно мышц об этом почему-то мало кто думает.

Сравним для примера устройство скелета и мышц человека с таковым же устройством насекомых. Вот у последних мышцы играют только двигательную роль, и мертвое высохшее насекомое обладает точно той же прочностью, как и насекомое живое. Звенья конечностей насекомых имеют строение жестких трубок, одинаково прочных как по отношению к сжатию, так и к растяжению; поэтому их мышцы (рис. 26) выполняют чисто двигательную роль. Они помещены внутри трубок и заняты только разнообразным подтягиванием их.

Не то у позвоночных. У них скелет построен везде по одному принципу: жесткий стержень в середине, упругие растяжки по сторонам. Первый работает на сжатие, вторые на растяжение. По такому принципу, например, строятся радио-телеграфные мачты, обладающие стержнем в середине и растягиваемые тросами с четырех сторон.

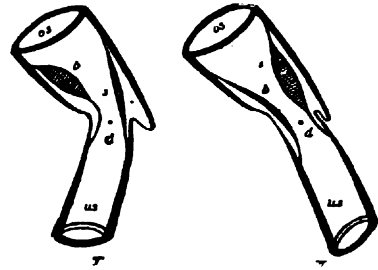


Рис. 26. Разрез сочленения насекомого и расположение мышц, управляющих этим сочленением. (По Шенихену).

Все различие между искусственными сооружениями такого рода и человеческой машиной состоит в том, что у радио-мачты растяжки имеют постоянную длину и почти нерастяжимы, в то время, как у позвоночного часть этих растяжек может менять свою длину и степень натяжения. Мышцы суть простые тросы, но только тросы с регулировкой длины.

В живой машине позвоночных два вида тканей берут на себя сопротивление сжатию: это костная и хрящевая ткань. Эти две ткани стоят между собою в близком родстве, могут замещать одна другую и часто развиваются из общего первоисточника. Точно так же задачу сопротивления растяжению берут на себя две другие группы тканей, опять-таки родственных между собой и переходящих друг в друга. Это будут сухожильная и мышечная ткань. Разница между обеими последними по существу только в том, что сухожильная ткань не имеет регулировки длины, а мышечная ткань ее имеет.

Уже в первой лекции я рассказал вам о замечательном свойстве живого организма устранять костную ткань в тех местах, где она не подвергается прямому воздействию усилий.

То же свойство обнаруживает организм и по отношению к другим видам тканей, при чем всегда ткань более тонкого и сложного строения имеет склонность при первой возможности и при отсутствии спроса на ее специальные способности замещаться другой, менее высоко квалифицированной. В частности мышечная ткань постоянно замещается сухожильной тканью, т.-е. связками, в тех местах, где не встречается запросов на саморегулирование растяжки. Мы знаем, например, из медицинской практики, что происходит, когда какое-нибудь сочленение вследствие застарелого вывиха или иной болезни теряет свою подвижность. Неизбежно вслед за этим наступает вырождение мышц этого сочленения, превращение их в сухожильно-подобную ткань. Расположение мышц вокруг сочленения становится понятным только при том условии, если мы будем рассматривать связки этого сочленения и его мышцы вместе, в общей совокупности.

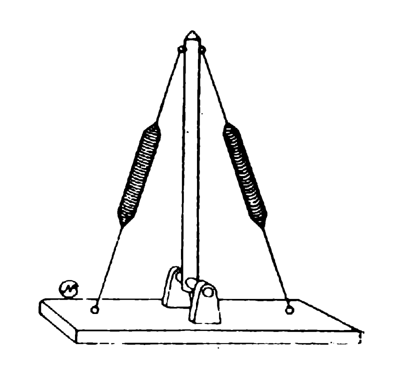


Рис. 27. Схема мышечных растяжек одноосного сочленения (мышцы-антагонисты).

Древнейшие формы сочленений обладали еще очень неопределенной формой и многостепенной податливостью по всем направлениям. В связи с этим мышечная оболочка таких сочленений окружала их более или менее равномерно со всех сторон. Превращение отдельных частей этой мышечной оболочки в сухожилия и связки приходится считать вторичным преобразованием, которое связано с более точным оформлением сочленений и получившимся при этом ограничением степени их подвижности.

Возьмите для начала рычаг, насаженный на ось с одной степенью подвижности. Такой рычаг может поворачиваться только в одной плоскости; для всех других направлений он закреплен устройством своего шарнира. Значит, ему требуются для равновесия растяжки только в таком количестве, которое необходимо для закрепления его и в этом последнем направлении. Сколько же тут требуется растяжек?

С л у ш а т е л и. Одна? Две?

Л е к т о р. Взгляните на рис. 27 и разберитесь в его положении. Если ограничиться одной только растяжкой, то она пере-

тянет рычаг на свою сторону и ничто этому не сможет помешать. Очевидно, растяжек должно быть две, притом рассчитанных на прямо противоположный образ действий. С такими растяжками сочленение закреплено вполне.

Берем теперь двухосное сочленение (рис. 28). Сколько нужно растяжек при двух осях? Часто думают, что к двухосному сочленению потребны две пары растяжек противоположного действия, а к трехосному сочленению три пары. Это, однако, не верно: из рис. 28 ясно видно, что при двух степенях подвижности достаточно трех растяжек, притом расположенных как угодно, лишь бы они не приходились все три на одной стороне. Вы понимаете, что если расположить растяжки правильным треугольником (как это делается, например, в палатках о трех канатах), то, меняя подходящим образом длины этих трех растяжек, можно будет заставить осевой стержень принять любое положение из числа доступных ему по двум степеням подвижности. Точно так же можно бы доказать, что при трехосном сочленении наименьшее достаточное число растяжек есть четыре. Очевидно, в двух последних случаях ни одна мышечная растяжка не является по отношению к другой стойким противником—антагонистом. Наоборот, костный рычаг может быть уравновешен в любом доступном ему положении только при посредстве соответственного перераспределения длин всех его растяжек При каждом движении в сочленении участвует не одна мышца подходящего направления волокон, как думали когда-то, и не две мышцы противоположного действия, как нередко думают сейчас, а вся толща мышц, стоящих в связи с данным сочленением. Каждое движение живой машины есть результат перераспределения напряжений между

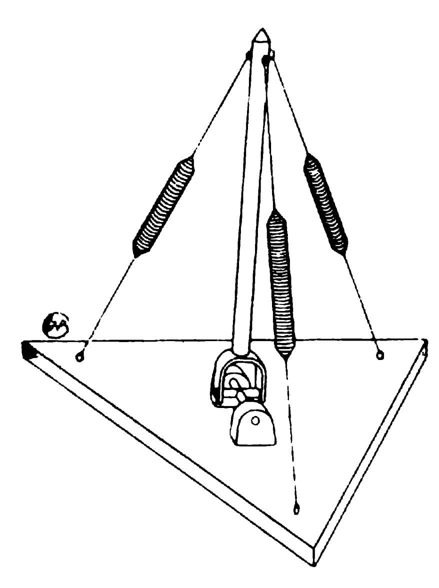


Рис. 28. – Схема расположения мышечных растяжек при двухосном сочленении.

всеми мышцами органа, производящего это движение. При этом нередки и такие случаи, когда разные части одной и той же мышцы одновременно обладают различными напряжениями, так что процесс перераспределения распространяется не только на отдельные мышцы, но и на их составные части.

Представьте себе, что сочленение, некогда подвижное во всех направлениях, постепенно потерпело ограничение в своей подвижности. У него выработался отчетливо сформированный аппарат сочленовных окончаний с закраинами, мешающими всесторонней подвижности. В связи с этим оно уже не может выполнять очень многих движений из доступного ему раньше разнообразия. Вам теперь уже понятно, что мышцы, которые благодаря этому обрекаются на бездействие, не остаются мышцами, а превращаются в связки. Мы установили, что для сочленения с наибольшей трехстепенной подвижностью нужны всего четыре растяжки; этих четырех растяжек мы будем теперь искать уже во всяком сочленении, помня только, что мышечное строение сохранило из них лишь то количество, которое необходимо сочленению с данной подвижностью.

Иными словами, мы будем ожидать в одностепенном сочленении двух мышечных растяжек (противоположного действия) и двух связок; в двухстепенном сочленении—трех мышц и одной связки; наконец, в трехстепенном сочленении—четырех мышц и, может быть, ни одной связки. Во многих случаях мы найдем такое распределение и в действительности.

Вот теперь в наших руках есть достаточный ключ к тому, чтобы разобраться в монтаже мышц человеческой машины. Мы имеем возможность подойти к их распределению сознательно, с точными данными в руках. Само описание распределения и способа работы мышц человеческого тела послужит предметом следующей лекции, а сейчас я хочу научить вас, как определять назначение и направление действия мышцы на живом человеке.

Вы помните, что мышца напрягается тогда, когда есть налицо какая-нибудь растягивающая ее сила: ведь действие всегда равно противодействию. Если никакая посторонняя сила не мешает мышце совершить некоторое движение, то она преспокойно совершит его, сократится и никаким напряжением, вообще никаким наглядным признаком это на ней не отразится: она

будет и во время своей работы такой же мягкой, как была и в покое. Этим путем мы ничего и не узнаем.

Значит, для того, чтобы мышца, предназначенная для данного движения, чем-нибудь себя выдала, надо добиться, чтобы она напряглась и стала твердой на ощупь. Для напряжения нужна противодействующая сила. Отсюда способ.

Пусть вам желательно определить, какая мышца совершает разгибание плеча. Вы предлагаете испытуемому производить разгибание плеча; но еще прежде, чем он начнет это движение, вы берете его за нижний конец плеча и изо всех сил препятствуете ему совершить это движение. Он старается разгибать плечо, а вы его не пускаете. Вот при этих условиях у него все мышцы останутся мягкими, кроме только тех, которые в обычных условиях производят разгибание плеча. Если вы одной рукой будете удерживать его руку, а другой легонько пальцами пощупаете сквозь кожу разные мышцы и мышечные пучки в окрестностях плеча, то вы сразу поймаете те из них, которые замешаны в данное движение. Это есть единственный правильный прием, которым я рекомендую вам пользоваться во всех случаях.

Сделаем пробу. Я попрошу сюда на авансцену трех товарищей. Один будет у нас испытуемым, двое—обследователями.

Вот займитесь-ка определением того, какая мышца участвует в разгибании плеча. Сначала проделайте это движение; не забыли ли вы, что называется разгибанием плеча? Верно, это будет поднимание плеча вперед и наружу. Теперь поставьте опыт так, как я сейчас об'яснил. Удерживайте его руку, сильнее, изо всех сил; а он пусть изо всех сил старается разогнуть плечо. Прощупайте его плечевую область. Где вы находите напряжение?

Слушатели. Вот здесь спереди на плече.

Лектор. Возьмите мелок. Пусть один из вас попрежнему удерживает руку испытуемого, а другой прощупывает осторожно границы напряжения мышц и обрисует их мелком по коже. Что получилось? Вы видите, что в результате испытания определилась мышца, сидящая на наружной и передней стороне плечевой области, как эполет. Эта мышца называется дельтовидной мышцей; а теперь вы уже знаете и то, как эта мышца действует. Вы можете быть уверенными после проделанного опыта, что разгибание незагруженного плеча производит именно она (рис. 29, Б). Сделаем еще опыт. Я прошу испытуемого поднять плечо на 45°

прямо в сторону. Нет, вы не то делаете: вы поднимаете надплечье, а ведь плечом называется отрезок руки от плечевого сочленения до локтевого. Теперь правильно. Помните ли вы, как сделать приведение плеча? (испытуемый опускает руку обратно). Нет, то движение, которое вы сейчас сделали, придется просто назвать опусканием плеча. Приведение—это есть поворот плеча вокруг вертикальной оси. Поставьте плечо в прежнее положение на 45° в сторону. Теперь делайте им оборот вперед, все время оставляя локоть на одной и той же высоте, ведите его по горизонтальному кругу. Вот так. Это и есть приведение плеча. Теперь пожалуйте сюда, обследующие: определите, какие мышцы управляют этим движением. Не теряйтесь же. Как здесь надо поступить?

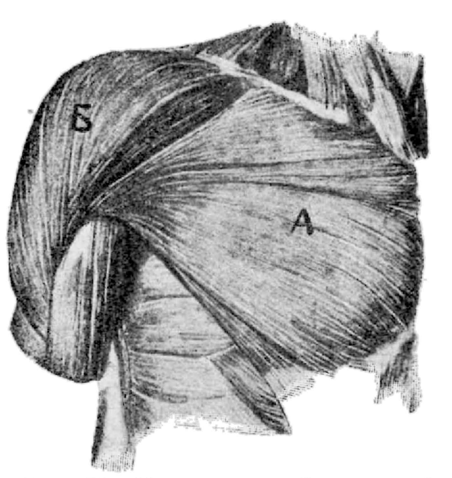


Рис. 29. Мышцы правой плечевой области, спереди. А—большая грудная мышца, Б—дельтовидная мышца. (По Шпальтегольцу).

Обследующие. Удерживать руку?

Лектор. Именно; как же вы ее будете удерживать? Верно, не давайте ему приводить плечо. Погодите-ка ощупывать; поверните испытуемого лицом прямо к аудитории и устройте так: пусть он по очереди то пытается с силой приводить плечо, то снова расслабляет руку в прежнем исходном положении. Спросим аудиторию: не скажет ли она уже без ощупывания что-нибудь о том, какая мышца заинтересована в приведении плеча?

Слушатели. У него напрягается подмышкой.

Лектор. Только ли подмышкой; всмотритесь внимательнее.

Слушатели. Еще на груди.

Обследующий. У него напрягается валик впереди от подмышечной ямы и потом еще вся передняя часть груди.

Лектор. Я сейчас покажу вам рисунок, изображающий мышцы плечевой области и грудной клетки спереди. Узнаете ли вы на нем ту мышцу, которую вы сейчас уличили в приведении плеча (рис. 29)?

О б с л е д о в а т е л и. Вот эта. (Указывают на мышцу, отмеченную на рис. 29 буквой А).

Л е к т о р. Опять-таки вы верно нашли требуемую мышцу. Эта веерообразная мощная мышца носит название большой грудной; со способами ее действия, которые очень разнообразны, и с местами ее прикрепления мы познакомимся в следующий раз. Теперь вы вооружены способом, который поможет вам ориентироваться в действии любой поверхностно лежащей мышцы. В свободное время поупражняйтесь в нем.

Лекция 5-я

Товарищи! Приступаем к разбору мышечного и связочного оборудования человеческой машины. Я менее всего собираюсь затруднять вас описаниями отдельных мышц. Ведь уже в прошлый раз мы выяснили, насколько не сходится двигательная и статическая роль мускулатуры с анатомическим разделением ее на отдельные мышцы. То, что анатомы называют отдельными самостоятельными мышцами, выделено ими нередко из общей мышечной толщи на основании таких случайных признаков, как несколько более плотный соединительно-тканный чехол, одевающий эту часть. А снимая с себя обязательство говорить об анатомических подробностях, мы сильно упрощаем нашу задачу и уменьшаем время, потребное для рассказа. Начнем с туловища.

Я уже говорил, что позвоночник четвероногого в структурном отношении представляет собою мост, перекинутый между двумя быками—передними и задними конечностями. Взгляните на рис. 30. Позвоночник между обеими точками опоры представляет собою арку, обращенную выпуклостью, как это и полагается, кверху. Если бы от позвоночника требовалась только жесткость, то уже этого изгиба могло бы быть достаточно для его укрепления. Но природа поставила позвоночнику более сложное строительное требование; требование, надо сказать, неразрешенное еще строительным искусством человека. Именно: сохраняя свою прочность, не подгибаясь и не проваливаясь, позвоночник должен в то же время быть гибким сооружением, иметь возможность различным образом менять свою форму. Выход из этого положения природа нашла такой.

Принцип устройства позвоночника тот же, с каким мы уже встречались в этом курсе не один раз: природа ску-

па на выдумки. Жесткий стержень позвоночника снабжен с четырех сторон четырьмя растяжками (рис. 30), которые тянутся параллельно с ним во всю его длину: снизу, сверху и с обоих боков. Растяжки эти имеют разное устройство. Вы понимаете, что постоянный запрос на сопротивление растяжению пред'является к нижней растяжке: она работает все время, пока животное стоит. В связи с этим нижняя растяжка сухожильная, устроена она в виде плоской ленты, пришитой к телам всех позвонков с брюшной (т.-е. с нижней) стороны. Остальные три растяжки, которые то работают, то нет, во всяком случае по разному в разных случаях, имеют мышечное строение. И задняя (спинная) растяжка и обе боковых лежат в виде двух толстых жгутов по обе стороны позвоночника. Это есть то самое «мясо», которое известно на кухне под именем отбивных котлет. Вся масса мышечных волокон этих растяжек идет продольно; по большей части волокна здесь коротки, тянутся между соседними или близко лежащими позвонками. Они сращивают между собой не только все позвонки, шейные, грудные, поясничные и крестцовые, но захватывают и все кости, какие подвернутся по соседству: затылочную часть черепа, задние концы ребер и тазовые кости. Посмотрите еще раз на рис. 30; вы видите, что позвоночник четвероногого имеет по своей длине три разных изгиба. В грудной части он обращен выпуклостью вверх, а в шейной и поясничной—вогнутостью вверх. Подумайте, где нужны более прочные растяжки, в особенности верхние? Ведь в грудной части позвоночник похож на арку; значит, прочность в сильной степени достигается уже его формой. Не то в шейной и поясничной частях. Действительно, в этих частях продольные мышцы спины толще, солиднее, чем в грудной части.



Рис. 30. Схема туловищных мышечных растяжек четвероногого млекопитающего.
А—брюшная растяжка.
Б—сухожильная растяжка позвоночника.
В—спинная растяжка.

У человека с вертикально расположенным позвоночником распределение усилий другое. Вы помните, что мы говорили в прошлой лекции про момент силы. Чем плечо рычага меньше, тем сила должна быть больше, чтобы имело место равновесие. Силой в данном случае будет опрокидывающее усилие тяжести,

которое стремится уронить позвоночник. При данном значении момента этого усилия, силы, которыми он себя проявляет, будут тем больше, чем ближе к нижнему концу позвоночника. Значит, в нижней его части продольные мышцы у человека должны быть толще, чем в верхней. Понятно ли?

Слушатели. Не совсем.

Лектор. Сообразите: верхним отделам этих мышц, например шейному, приходится преодолевать груз одной только головы, которая весит $4^1/_4$ килогр., и плечо рычага здесь составит, от середины шейного отдела до центра тяжести головы, сантиметров 15. Поясничному же отделу приходится сопротивляться действию тяжести туловища с головой и руками, что весит 38 кгр., и плечо рычага здесь сантиметров 35—40. Значит, для поясничных мышц груз в девять раз больше и плечо рычага втрое. Следовательно, момент здесь в двадцать семь раз больше, чем для шейных мышц. Теперь ясно? Ну вот.

Теперь арка позвоночника нами оборудована. Можно перейти к тому, как этот позвоночник нагружен. Загрузку позвоночника представляет собою туловище. У четвероногого обе пары конечностей служат как подпорки и в счет не идут; на позвоночнике висит только само туловище, представляющее собою полый футляр или чемодан для внутренних органов. Все мышцы, кости и связки туловища (кроме немногих мышц внутренностей, о которых мы здесь не говорим) представляют собою только оборудование стенок этого чемодана. А устройство этих стенок совершенно такое же, как у многих чемоданов искусственных.

Эти стенки обтянуты в три слоя плоскими мышцами с разными направлениями волокон. В двух наружных слоях волокна идут наискось крест-на-крест друг к другу. В третьем, самом глубоком слое, они идут горизонтально, поперечно. Благодаря такому перекрестному ходу получается особенная крепость и эластичность стенки во всех направлениях. Если хотите, по тому же принципу перекрестных слоев устраиваются фанерные листы; вам известно, какой выигрыш в прочности достигается этим. В брюшной части мышечные пласты идут сплошь; в грудной сквозь них пропущены еще ребра, которые ровно ничего не меняют ни в расположении, ни в образе действия слоев. У биомехаников есть плохая привычка сравнивать все, что можно,

с искусственными сооружениями. Следуя этой привычке, я не могу и здесь не сравнить ребра с китовым усом в корсете.

Сколько-нибудь подробнее описывать мышцы туловищной стенки я здесь не могу; интересующимся предложу заглянуть в анатомический атлас.

На таком несложном сооружении, как туловище, смонтированы гораздо более мудреные машины поясов конечностей. И эти последние можно осмыслить только, если начать с четвероногих млекопитающих. Мы уже говорили, что плечевой пояс устроен по типу висячего моста. Укрепление его к туловищу состоит у четвероногих из широкого мышечного полотнища, на которое грудная клетка положена так, как кладут на лямки обучающихся плавать. Это полотнище охватывает, следовательно, всю грудную клетку с нижней стороны; а наверху прирастает к верхним обрезам лопаток, проходит еще выше и, наконец, сходится обоими концами у позвоночного столба. У человека, как вы понимаете, отношения переменились. У него уже не передние конечности несут туловище, а, наоборот, туловище несет передние конечности. Это обозначает разгрузку плечевого пояса более, чем в три раза. Кроме того, при вертикальном туловище тот мышечный бандаж, который я сейчас описал, лежит уже горизонтально, а не вертикально, как раньше, и служит уже в качестве подвеса туловища только побочным образом. В связи со всем этим он ослабел, стал меньше, а за счет его усилились соответственно другие части. Вид этого мышечного бандажа у человека спереди изображен на рисунке 31, а его задняя половина, та, что соединяет лопатку с позвоночником, была упомянута нами в четвертой лекции, на стр. 55.

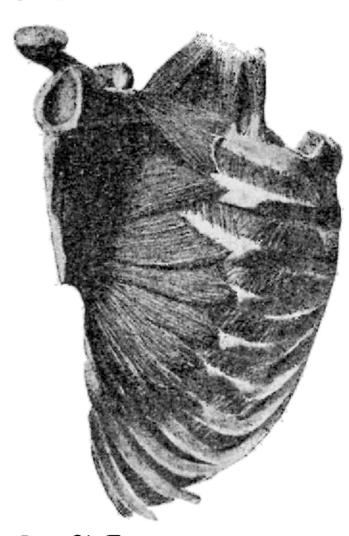


Рис. 31. Передняя часть мышечного бандажа, укрепляющего лопатку к туловищу — передняя зубчатая мышца (по Шпальтегольцу).

Итак, у человека вторично развились новые растяжки, пригодные для подвеса лопатки и плечевого пояса при новой вертикальной стойке. Эти новые подвески удерживают лопатку

сверху и снизу, укрепляя ее в этих направлениях к позвоночному столбу. Вид этих подвесок, носящих название трапециевидной мышцы, приведен на рис. 32.

Итак, человеческая лопатка снабжена в общей сложности четырьмя мышцами, идущими от неё во всех четырех направлениях к туловищной стенке. Я уже говорил, что четыре растяжки могут обеспечить три степени подвижности; а эти три степени лопатка как раз и имеет. Она может совершать движения вверх и вниз, в обе стороны, и, кроме того, еще вращаться. Из предыдущих об’яснений понятно, что движения лопатки в стороны (приведение и отведение) могут совершаться с помощью обеих половинок мышечного бандажа, служившего передней подвеской у четвероногих. Ее же движения вверх и вниз производятся частями новой подвески—трапециевидной мышцы. При этом верхняя, поднимающая часть трапециевидной мышцы сильнее и больше, чем нижняя. Это и немудрено: ей приходится ведь постоянно преодолевать силу тяжести рук.

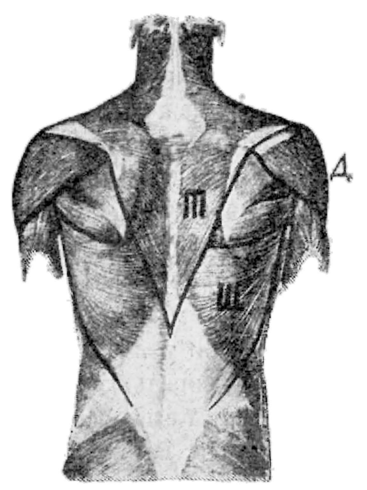


Рис. 32. Мышцы спины. Ш—трапециевидная мышца, Ш—широкая мышца спины (см. рис. 35), Д—дельтовидная мышца. (По Шпальтегольцу).

Как же обстоит дело с вращением лопатки? Здесь лопаточным мышцам приходится сокращаться порциями, частями. Для поворота лопатки наружу пускаются в ход нижняя порция спинной половины и верхняя порция брюшной половины поперечной растяжки. Для поворота лопатки внутрь есть целых два мышечных механизма. Во-первых, та же самая поперечная растяжка может дать поворот и внутрь, если только в ней сократится верхняя порция спинной половины и нижняя порция брюшной. Но кроме того, тот же эффект может дать и трапециевидная мышца. Посмотрите, как она устроена (рис. 32). Своим туловищным концом она прикреплена ко всем шейным и грудным позвонкам, да еще к нескольким поясничным. Со всего этого громадного протяжения она собирается веером к лопатке, где прикрепляется к

большому костному рычагу, далеко выступающему из лопаточной пластины. Но к этому рычагу волокна трапециевидной мышцы прикрепляются не в одной точке. Наоборот, самые верхние волокна, идущие из-под затылка, отходят всего более в наружную сторону и прикрепляются на упомянутом рычаге лопатки на самом наружном конце, иногда заходя даже за ключицу. Нижние волокна той же мышцы, напротив того, поднимаются почти вертикально вверх и кончаются на лопатке у самого внутреннего конца того же рычага. Вообразите себе, что верхняя и нижняя порции трапециевидной мышцы напряглись одновременно. Ясно, что такое напряжение должно будет повести опять-таки к повороту лопатки внутрь.

Чем об'яснить, что для поворота внутрь имеется в два раза более мощный мышечный аппарат, чем для поворота наружу? Помня только о лопатке, вы этого не об'ясните. Я воспользуюсь случаем, чтобы проверить, что вы усвоили относительно совместных движений лопатки и плеча. Вообразите, что плечо закреплено неподвижно в плечевом сочленении с помощью мышц этого сочленения. Что произойдет с плечом, если вы при этом начнете совершать поворот лопатки внутрь? Это вас затрудняет? Скажу иначе. Постарайтесь сообразить, какому именно из движений плеча помогает поворот лопатки внутрь? Можно сказать и еще иначе. Вы помните, что движения лопатки могут увеличивать границы подвижности плеча. Так вот, при каком же движении плеча нужно пустить в ход поворот лопатки внутрь, чтобы расширить границы подвижности в этом направлении?

Слушатели. При разгибании плеча.

Лектор. Верно. А следовательно, чем сопровождается со стороны лопатки противоположное движение—сгибание плеча?

Слушатели. Вращением в другую сторону.

Лектор. Да, т.-е. вращением наружу. Теперь скажите, на что нужно затратить больше силы: на разгибание или на сгибание плеча?

Слушатели. На разгибание.

Лектор. Почему?

Слушатели. Потому что при разгибании под'ем.

Лектор. Вот поэтому-то вращение лопатки внутрь требует более сильного аппарата мышц, чем вращение ее наружу. В сущности, весь подвес плечевого пояса человека этим исчер-

пан; но далеко не исчерпаны еще все мышцы этого пояса. Причина этого заключается в следующем.

Когда начинается развитие мышц конечностей, то эти мышцы возникают сначала своими нижними концами, т.-е. на конечностях, и уже оттуда тянутся по направлению к поясам и туловищу. При этом одни из таких мышц доползают только до костей поясов — в нашем случае до лопатки, — другие же проходят без остановки мимо лопатки и прикрепляются уже прямо на туловище. Происходит нечто подобное с тем, как устроены дачные поезда на многих железных дорогах: одни обслуживают только близкие станции, другие только далекие. Так вот безостановочные поезда для дальних станций, т.-е. мышцы прямого сообщения «плечо — туловище», перемешиваются с только что описанными мышцами подвеса и осложняют собою их внешнюю картину, а отчасти и их механическое поведение.

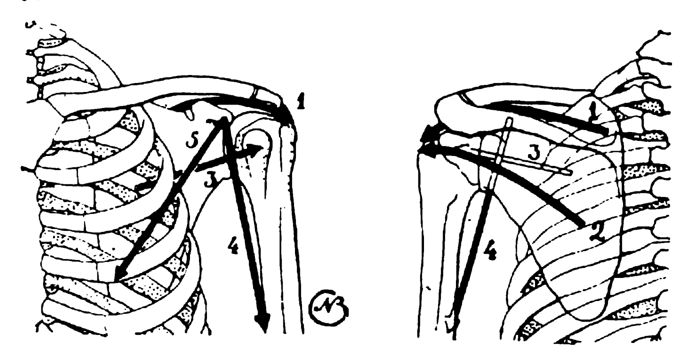


Рис. 33. Направление мышечных тяг короткой группы плеча.

1—надостная мышца, 2—подостная мышца, 3—подлопаточная мышца, 4—клювовидно-плечевая мышца, 5—малая грудная мышца.

Нам будет удобнее начать с коротких мышц плечевого сочленения. Этих мышц имеется вокруг сочленения пять; но механически правильнее одну из этих пяти, именно дельтовидную, рассматривать совместно с мышцами длинной группы. Оставшиеся четыре будут следующие (рис. 33).

Все они соединяют плечо с лопаткой. При этом они попарно подходят к нему с двух сторон. На наружной стороне плечевой кости у самого конца имеется небольшой костный выступ, называемый большим бугром плеча. На переднем краю плеча, тоже у самой верхушки, лежит еще другой бугорок — малый

бугор плеча. Две из упомянутых сейчас мышц как раз идут к большому бугру, одна сверху, другая сзади. На рис. 33 эти мышцы обозначены №№ 1 и 2. Та, что подходит к бугру сверху, начинается на лопатке, над тем костным рычагом, о котором я говорил при описании трапециевидной мышцы. Вторая начинается со всей лопаточной пластины под тем же рычагом. Если вы вглядитесь в их расположение, то поймете, что верхняя из этих двух мышц может работать, как разгибатель плеча, а нижняя — как его сгибатель. Кроме того, нижняя мышца, которая охватывает плечевую кость сзади, годится еще и для вращения плеча вокруг его продольной оси наружу.

Третья мышца этой группы начинается тоже от всей лопаточной пластины, на этот раз от ее внутренней поверхности, той поверхности, которая прилегает к ребрам. Она идет уже к малому бугру плеча и огибает плечо с передней стороны. Значит, она может производить вращение плеча внутрь, и кроме того, сокращаясь вместе со второй из описанных сейчас мышц, производит сгибание плеча. (Рис. 33, № 3).

Наконец, четвертая мышца этой группы начинается от маленького крючка лопатки около самого плеча, направляется вниз вдоль плеча и прирастает к его внутреннему краю. Эта мышца есть явная приводящая мышца плеча. Вы можете спросить: отчего же в плечевом сочленении имеется целых две мышечных группы, длинная и короткая, и как распределяются обязанности между обеими группами?

Может быть, лучше всего ответит нам на этот вопрос опыт. Организуем его, как в прошлый раз: с одним испытуемым и с двумя обследователями. В тот раз мы не занимались мышцами ручной кисти; посмотрим-ка их теперь. Пусть испытуемый сжимает пальцы в кулак, а кто-нибудь из обследующих, знакомым вам порядком, мешает этому движению. Другого обследователя я попрошу поискать, какие мышцы участвуют в сжимании кулака. Помните, как это надо делать? Да, конечно, надо ощупать мышцы. Так и поступите.

(Испытуемый сжимает кулак; его пальцы удерживает другой; третий ощупывает предплечье, плечо и плечевую область, затем указывает на переднюю сторону плеча и говорит: напряжено вот здесь).

Лектор. А еще где напряжено?

Обследователь. А еще здесь выше.

Лектор. Значит, по вашему получается, что мышцы пальцев находятся в плечевой области?

Обследователь. Так выходит.

Лектор. Попробуйте еще предплечье.

Обследователь. Тут тоже напряжено.

Лектор. Что же это значит? Получается, что мышцы всей руки напрягаются для сжатия пальцев в кулак? Немножко дальше вы убедитесь, что настоящие сгибатели пальцев находятся на предплечьи, там где вы их прощупали. В каком же смысле участвуют здесь остальные вышележащие мышцы? Видоизменим нашу пробу. Установим испытуемого, как и раньше, пусть он опять тщетно пытается сжать кулак, а вы в это время обследуйте область плечевого сочленения, со всех сторон, и спереди, и сзади, и сверху.

Обследователь. Везде напряжение; тут, впрочем, немножко меньше, а здесь больше.

Лектор. Примем к сведению пока только два каких-нибудь противоположных направления: например, переднюю и заднюю сторону сочленения. Как вы думаете, могут ли мышцы, лежащие на этих противоположных сторонах, работать согласно или они суть антагонисты, напряжение которых ведет к прямо противоположным последствиям?

Слушатели. Наверное они работают наоборот.

Лектор. В этом все и дело; что же может получиться при их совместном действии, кроме неподвижности? Они могут только тормозить друг друга. Значит, вы имеете перед собой новый способ работы мышц, не такой, как вы обследовали раньше. Теперь, как вы думаете, для чего может понадобиться такое одновременное напряжение прямо противоположных мышц?

Слушатели. Для закрепления сустава.

Лектор. Вот именно. Теперь, может быть, вы разберетесь и в том, почему мы нашли напряженные мышцы в плечевой области при движении пальцев. Вся суть в ошибочной постановке нашего опыта. Если обследующий старается разжать кулак испытуемого, то он с силой тянет его пальцы,—а за пальцами тянется и вся рука. Чтобы не дать сдвинуться всей руке, пальцевые мышцы ничего предпринять не могут; приходится пускать в дело мышцы плеча и плечевого пояса. Следовательно, кисть может отдыхать, когда работает плечо; но плечу приходится работать тогда, когда работает кисть.

Этого мало. Вернемся опять к подсчету моментов. Попросим испытуемого протянуть вперед руку, а я положу на его ладонь вот эту гирю в один килограмм. Есть ли у кого из вас сантиметр? Измерим расстояние от нашего груза до центров всех сочленений руки. Смотрите: от центра груза до лучезапястного сочленения 9 сантм.; оттуда же до локтевого сочленения 34 сантм.; наконец, до плечевого сочленения 65 см. Значит, момент нашего груза относительно локтя почти вчетверо больше, чем относительно запястья; а по отношению к плечу он в семь раз больше. Итак, если бы даже рука сама ничего не весила, а весил бы только груз, то и в этом случае нагрузка у плеча была бы в семь раз больше, чем у кисти. Мышцы плеча не только загружаются при работе кисти, но загружаются в несколько раз сильнее, чем сами мышцы кисти.

Вот этим-то и об'ясняется, что плечу приходится иметь усиленное, двойное мышечное оборудование. Оно работает не только за себя, но за всю руку, и в этом последнем случае требует даже больше силы, чем в первом. Поэтому мышцам плеча приходится выполнять обязанности двух родов. Во-первых, они перемещают, поворачивают плечо во всевозможных направлениях, а во-вторых, они закрепляют, как говорят, фиксируют плечо в каждом требуемом направлении. В очень многих случаях эту вторую обязанность фиксации выполняют мышцы длинной, еще пока не описанной группы. Мышцы короткой группы, более слабые, но более юркие, обыкновенно достаточны для поворотов и перестановок плеча. Может быть, переход длинных мышц с костей плечевого пояса на туловище и об'ясняется необходимостью получить более прочную и более широкую площадь опоры.

Теперь можно перейти к рассмотрению длинной группы мышц плеча. Она включает в себя по анатомическим понятиям три мышцы, а с биомеханической точки зрения по крайней мере пять. Это происходит потому, что дельтовидная мышца очень широка, охватывает плечевую область с трех сторон, и крайние пучки ее обладают совершенно различным, почти противоположным действием. На рис. 34 она изображена в виде целых трех стрелок, 1, 2 и 3.

Может быть, не стоит и описывать, как действуют эти три раздельные пучка. Из внимательного рассмотрения рисунка действие это вырисовывается очень ясно. К тому же дельтовид-

ная мышца лежит очень поверхностно и ее напряжения вы легко можете проверить на самих себе. Очевидно, пучок № 1 есть настоящий разгибатель плеча (в этом он сходится с пучком № 1 короткой группы). Пучки №№ 2 и 3 длинной группы при совместной работе действуют, как сгибатель, а, работая порознь, могут совершать приведение и отведение, а также ротацию плеча.

О пучках 4 и 5 нужно сказать несколько больше. И тот и другой изображены на рисунке просто стрелками. Но это со-

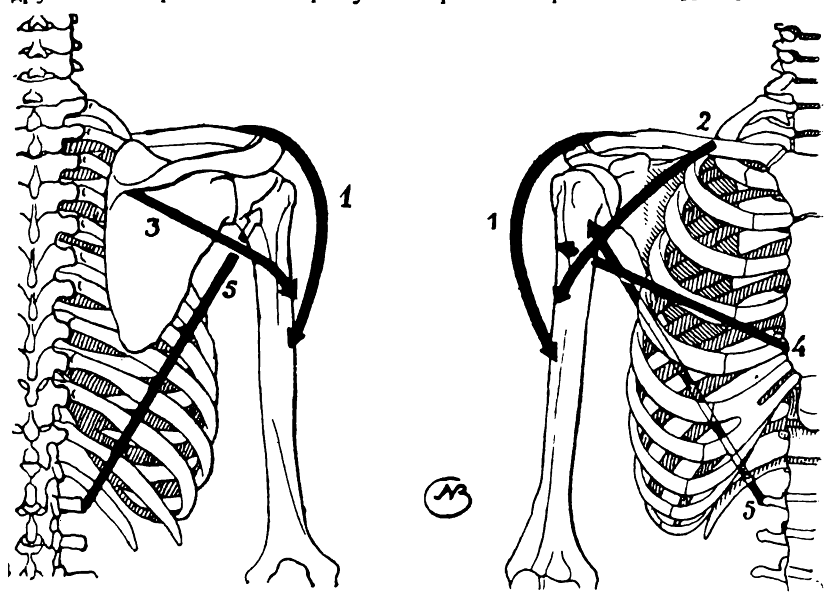


Рис. 34. Направления мышечных тяг длинной группы мышц плеча. 1, 2 и 3—отдельные пучки дельтовидной мышцы, 4—большая грудная мышца. 5—широкая мышца спины.

вершенно условно. В действительности и тот и другой—это очень большие и широкие мышцы. Обе находятся на туловище на очень широкой поверхности, а затем собираются веером к одному небольшому сухожилию и в таком виде срастаются с плечевой костью. Пучок № 4 начинается на всей передней поверхности грудной клетки. Это — большая грудная мышца, которая очень хорошо видна у мускулистых людей. Если вы помните, в прошлый раз мы доказали, что эта мышца заведует приведением плеча. Если вы попробуете проделать наш обычный опыт над приведением плеча, то эта мышца, а вместе с тем и ее сухо-

жилие, напрягутся и будут хорошо видны под кожей. Как видите, большая грудная мышца образует переднюю стенку подмышечной впадины.

5-й пучок той же группы есть самая широкая изо всех мышц тела. Она изображена отдельно на рис. 35. Там видно, что она начинается очень низко, от тазовых костей и крестца, а также от поясничных позвонков. Все это огромное полотнище огибает спину в направлении снизу вверх и очень узким сухожилием кончается под малым бугром плеча (т.-е. впереди). Из названного сейчас рисунка легко понять, как должна действовать эта мышца.

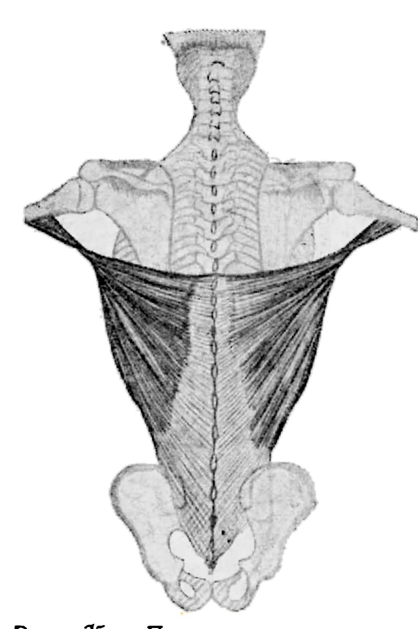


Рис. 35. Положение широких мышц спины обеих сторон и способ их прикрепления к плечевым костям. Все прочие спинные мышцы для ясности удалены. (По Моллиеру).

Надо прибавить еще вот что. Все мышцы длинной группы должны бы отличаться от коротких мышц тем свойством, что они оканчиваются на костях туловища, минуя лопатку и ключицу. Между тем для дельтовидной мышцы это не соблюдается; и вы помните, что в начале лекции я и причислял ее анатомически к коротким мышцам. На самом деле приходится понимать дело так, что эта мышца делает только перерыв, остановку на лопатке и ключице; продолжение ее кверху есть не что иное, как верхняя часть трапециевидной мышцы, тянущейся уже до позвонков.

После такого длинного рассказа о мышцах плечевого сочленения описание локтевых мышц покажется пустым делом. Ведь мышц тем более, чем подвижнее сочленение; а локтевое сочленение относится к самым простым, одноосным. По теории мы ожидаем встретить здесь две мышцы и две сухожильных связки. Мышцы должны находиться по обеим сторонам от оси, а сухожильные связки—на концах оси.

Так и происходит. Локтевое сочленение (т.-е. сочленение плечевой и локтевой кости) имеет одного сгибателя и одного разгибателя. Сгибатель построен совсем просто: он начинается примерно от середины плеча, а оканчивается на самом верхнем конце локтевой кости, на том выступе, который представляет собою в то же время переднюю закраину ее сочленовной впадины. Разгибатель локтя построен несколько сложнее.

Прикрепляется он к локтевой кости совершенно симметрично со сгибателем, на таком же выступе, как и первый. Только этот выступ гораздо легче ощупать, так как он находится на выпуклой стороне локтя. Это есть острие локтя. Нижний конец локтевого разгибателя вздувается под пальцами, приложенными в этом месте, когда вы пробуете разгибать локоть, но удерживаете руку.

Верхний конец разгибателя разделен на целых три головки, из которых только одна оканчивается на плече; остальные две тянутся до лопатки, значит, перекидываются через целых два сочленения. Разгибатель локтя (трехглавый разгибатель) есть единственная мышца на задней стороне плеча; в локте он совершает разгибание, а в плечевом сочленении может помогать сгибанию плеча.

Тем бы дело и кончилось, если бы рядом с локтевой костью не лежала еще лучевая. Для сгибания этой кости имеется своя особая мышца. Эта мышца почему-то, может быть, по своему поверхностному положению, лучше всех остальных знакома широкой публике. Называется она бицепс или двуглавая мышца плеча.

Между тем по своему образу действий бицепс есть одна из самых мудреных мышц. Начать с того, что она нигде не связана ни с плечевой, ни с локтевой костью. Начинается она на лопатке и тянется оттуда прямым маршрутом к лучевой кости. Следовательно, она переходит через целых три сочленения (плечевое, плече-локтевое и локте-лучевое) и во всех этих сочленениях может вызывать движения. Представьте себе цепочку из четырех члеников, при чем между концами двух крайних натянута резинка. Условия взаимной подвижности члеников совершенно различны. Можете ли вы что-нибудь определенное предсказать о том, как будет эта резинка, сокращаясь, менять форму цепочки? Очевидно, этого сделать нельзя. Какую-нибудь определенность здесь можно получить, только если закрепить

чем-нибудь другим два сочленения цепочки из трех. Притом определенность будет каждый раз разная—в зависимости от того, которые два сочленения из трех мы закрепим.

Так и происходит с бицепсом. Эта мышца без содействия других, фиксирующих для нее лишние сочленения, совершенно бесполезна. Описать ее действие в изолированном виде никак невозможно. Можно сказать только, что она будет делать, если закрепить два сочленения из тех трех, через которые она проходит, и оставить свободным только третье.

В плечевом сочленении бицепс помогает разгибанию и отчасти приведению. В локтевом он действует, как сгибатель. Наконец в локте-лучевом он представляет собою очень сильный супинатор. Не даром винты и шурупы устроены так, что их ввинчивание, требующее большой силы, совершается при помощи супинации (так наз. правая нарезка). Механизм этого последнего движения таков: нижний конец бицепса прикреплен к лучу длинным сухожилием, похожим на тесемку. При движении—пронации это сухожилие наматывается на лучевую кость, как на вал. Для совершения супинации она с силой раскручивает обратно лучевую кость, как намотанная бечевка раскручивает волчок.

Очевидно, сила мышцы тем больше, чем больше ее момент относительно данного сочленения. А момент тем больше, чем больше плечо рычага, т.-е. расстояние от точки приложения силы до центра сочленения. Двуглавая мышца проходит всего дальше от центра локтевого сочленения, значит, в роли сгибателя локтя мышца эта сильнее всего. Для разгибания плеча и супинации предплечья она в четыре-пять раз слабее.

Кроме описанных трех мышц, в локтевом сочленении имеются, как уже сказано, две сухожильных растяжки, лежащих по обе стороны от сочленения. Эти растяжки скрепляют сочлененные кости на концах оси сочленения, а кроме того тянутся вдоль всей плечевой кости наподобие перегородок между сгибателями и разгибателем. На этом примере особенно четко видно, как первоначальный сплошной мышечный рукав выродился в сухожилие там, где ему невозможно было сокращаться.

На предплечьи можно было бы опасаться новой сложной системы мышц, сообразно тем трем степеням подвижности, которые кисть имеет относительно локтевой кости. Но не пугайтесь: другого «плечевого сочленения» в человеческой машине нет, и

самое трудное все равно осталось позади. На предплечьи мышцы схематизируются очень просто.

Во-первых, на нем лежат три коротенькие мышцы для пронации и супинации. Пронаторов два, супинаторов один. Это естественно, так как супинации могущественно помогает бицепс. Остальных мышц, управляющих луче-запястным сочленением, всего четыре и лежат они очень просто.

Запомните только вот что. На нижнем конце плечевой кости по обеим сторонам локтевого сочленения есть два костных вы-



Рис. 36. Мышцы, заведующие движениями запястья (кисти). Левая сторона—вид правого предплечья спереди. Правая сторона—тоже, вид с тыльной стороны. 1—лучевой сгибатель, 2—локтевой сгибатель, 3—4—лучевой разгибатель, 5—локтевой разгибатель. (По Моллиеру).

ступа. Называются они мыщелками: наружный и внутренний мыщелок. Запомнить вам надо вот что: все сгибатели нижнего отдела руки начинаются со стороны внутреннего мыщелка; все разгибатели — со стороны наружного мыщелка.

В свою очередь, у кисти руки приходится различать лучевой и локтевой край. Лучевой край, как и лучевая кость, находится со стороны большого пальца, локтевой край и локтевая кость— со стороны мизинца. Так вот четыре мышцы, движущие кистью, можно разделить попарно двумя способами. Во-первых, две из них суть сгибатели кисти и начинаются от внутреннего мыщелка,

а две—разгибатели — от наружного. Во-вторых, две из этих мышц тянутся к лучевому краю кисти, а две к локтевому краю. Итак, четверка будет такая: (обозначения на рис. 36):

локтевой сгибатель кисти,	2.
лучевой " "	1.
локтевой разгибатель кисти,	5.
лучевой " "	3. 4.

Все это изображено схематически на рис. 36. Теперь сообразите, что произойдет, если сократятся оба сгибателя, т.-е. №№ 2 и 1?

Слушатели. Будет сгибание кисти.

Лектор. Если сократятся оба разгибателя, т.-е. №№ 5 и 3—4?

Слушатели. Разгибание кисти.

Лектор. Это понятно. Теперь—если сократятся обе локтевые мышцы, т.-е. №№ 2 и 5, а обе лучевые, 1 и 3—4, растянутся? Вас затрудняет вопрос? Ну, что будет, если локтевой край кисти будет подтягиваться к предплечью, а лучевой край будет, наоборот, отходить от предплечья? Вы показываете совершенно верно; как же называется это движение?

Слушатели. Приведение кисти?

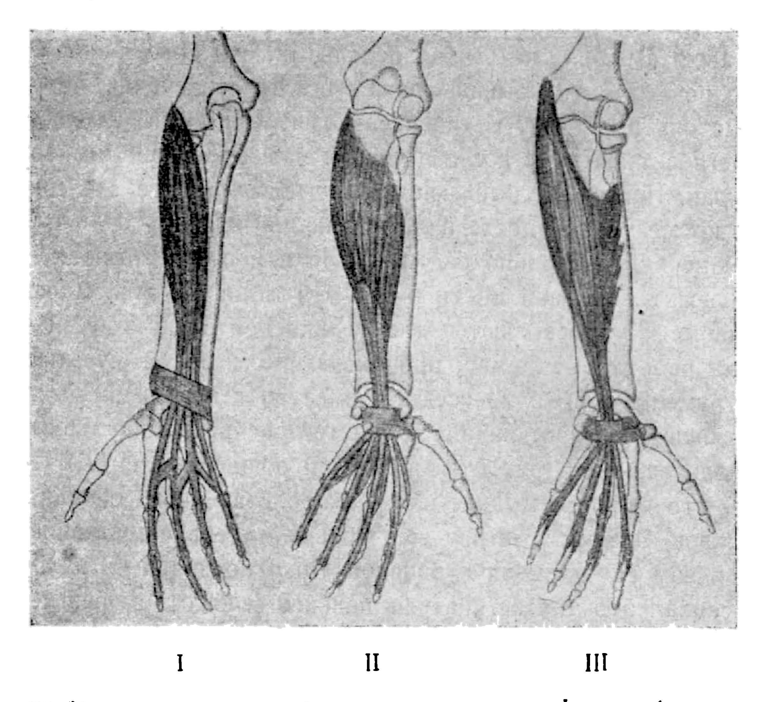
Лектор. Хорошо; следовательно, если те же мышцы будут сокращаться обратным порядком, то получится отведение кисти. Понятно это?

Слушатели. Понятно.

Лектор. Итак, лучезапястное сочленение обслужено нашими четырьмя мышцами полностью. Остается показать вам, где в действительности лежат эти мышцы и их сухожилия. Вы все знаете, что предплечье суживается к нижнему концу: это оттого, что на нижнем конце предплечья вообще нет никаких мышц, одни только тоненькие сухожилия. Вот сухожилия обоих разгибателей кисти можно легко увидеть у основания кисти, если препятствовать испытуемому разгибать ее. Они выступают тогда, как два крепких шнурка, по бокам кисти. То же относится к обоим сгибателям. Брюшки всех этих мышц расположены наискось, потому что начинаются они близ мыщелков плечевой кости, лежащих по бокам. У человека с развитой мускулатурой они видны даже просто глазом, если проделать наш обычный опыт с задерживанием движения конечности.

Самое интересное и, может быть, многим из вас неизвестное обстоятельство это—то, что почти все мышцы пальцев тоже ле-

жат на предплечьи, в его верхнем конце. Это имеет большую практическую выгодность. На кисти остаются только одни орудия—пальцы; двигатели помещены в отдалении и, благодаря этому, не мешают подвижности кисти и не задерживают ее. И здесь мышечные брюшки начинаются уже близ середины предплечья, а дальше вниз до пальцев тянутся длинные сухожильные шнурки, как передаточные ремни. Большой палец обслуживается особо, и о его мышцах лучше говорить в отдельности; остальные четыре пальца имеют тесно связанные между собой мышцы.



I II III

Рис. 37. Мышцы, управляющие движениями пальцев. I—разгибатель пальцев, II—глубокий сгибатель, III—поверхностный сгибатель. (По Моллиеру).

Все мышцы четырех длинных пальцев состоят из двух сгибателей и одного разгибателя (рис. 37). Начинаются они на предплечьи и отчасти на нижнем конце плеча в компании со сгибателями и разгибателями кисти на соответствующих мыщелках. Сухожилия разгибателя тянутся по тыльной стороне кисти до самых пальцев. Каждый видел их у себя много раз. Сухожилия сгибателей идут сложнее. Дело в том, что один сгибатель лежит на предплечьи глубже, чем другой, и каждый посылает сухо-

жилия ко всем четырем пальцам. Значит, каждый палец получает два шнурка, идущих один под другим по ладонной стороне Шнурки поверхностного сгибателя кончаются на средних фалангах пальцев. Шнурки глубокого доходят до самых ногтевых фаланг, и для этого им приходится пролезать под соответствующими сухожилиями поверхностного сгибателя, которые для этого случая на концах раздвоены, как вилочки. Но не следует думать, что глубокий сгибатель сгибает одну только ногтевую фалангу, а поверхностный сгибатель—одну только среднюю фалангу. Наоборот, вы знаете, что сгибать отдельно одну только ногтевую фалангу, не сгибая остальных, мы совсем не умеем. Надо помнить, что мышца движет все те сочленения, через которые она проходит. Следовательно, глубокий сгибатель пальцев сгибает кисть и все сочленения пальцев, т.-е. сжимает руку в кулак. Поверхностный сгибатель сгибает все те же сочленения, кроме только последних сочленений пальцев.

Я не буду подробно рассказывать вам о тех мышцах, которые лежат на самой кисти руки. Эти мышцы очень маленькие и слабые и употребляются они только при очень тонких пальцевых работах, например, при рисовании, игре на музыкальных инструментах, да и то всегда совместно с длинными мышцами. Вам ничего не даст знание тонкостей распределения этих мышц; гораздо важнее будет отметить один общий принцип. Я сказал уже, что длинные мышцы пальцев проходят через очень много суставов. Значит, к ним в еще большей степени применимо то, что я вам рассказывал о бицепсе. По отношению к пальцам я бы сказал это так: сгибатели пальцев сгибают, а разгибатель разгибает все те сочленения из числа подведомственных им, которые не закреплены какой-либо другой мышцей или посторонней силой. Нам приходится приводить пальцы и кисть постоянно в соприкосновение с посторонними силами. Это происходит всегда, когда мы что нибудь работаем, хватаем, несем и т. д. Вот почему та форма, которую принимают движения пальцев, больше зависит от характера этих внешних сил, чем от самих участвующих мышц. Сгибатели и разгибатель дают сырую силу, грубо направленную в ту или другую сторону. Претворение этой силы в тонко обработанное трудовое движение очень часто больше зависит от орудия и способа его хватки, чем от самих мышц руки. Уже отсюда может вам стать понятным громадное значение правильной хватки инструментов.

Мышцы большого пальца я тоже не стану подробно описывать, укажу только на главные отличия их от мышц прочих пальцев. Прежде всего в большом пальце, кроме длинных мышц, идущих с предплечья, есть еще довольно сильные короткие: это те, которые образуют возвышение большого пальца на ладони. Мышцы этого возвышения все так или иначе сгибают большой палец; потому в числе длинных мышц у него только один сгибатель и целых два разгибателя. Второе отличие состоит в том, что пястная кость большого пальца (та, что скрыта в мякоти ладони) может совершать два рода движений по двум степеням своей подвижности. Этим она отличается от пястных костей остальных пальцев, которые почти неподвижны. Поэтому она обслужена собственным штатом мышц; среди них-то и состоят один из длинных разгибателей и некоторые из коротких сгибателей. Все это обеспечивает большому пальцу значительную и разнообразную подвижность.

Этими данными мы заканчиваем обзор мышц руки. Он был поневоле очень поверхностен; но я не могу желать большего, чем того, чтобы вы хотя сколько-нибудь ориентировались в распределении и способах действия двигателей верхних конечностей. Более подробный обзор мышц руки и образа их действия вы сможите найти в моей книге „Общая биомеханика". Нижнюю же конечность, которая, кстати сказать, гораздо проще, мы по недостатку времени отложим до следующей лекции.

Лекция 6-я

Товарищи! Мы посвятили целую прошлую лекцию разбору мышц верхней конечности. Вас, вероятно, пугает предвидение еще одной поневоле такой же скучноватой лекции о мышцах ноги; но, по счастью, с ногою мы разделаемся гораздо скорее. Причины этому вот какие.

Во-первых, вы помните, что верхний или плечевой пояс подвешен полностью на мышцах. Этих закрепляющих мышц там довольно много, и мы потратили на них порядочно внимания и времени. В противоположность руке тазовой пояс есть жесткое сооружение, и ни одна мышца не занята специально тем, чтобы закреплять его.

Во-вторых, нашу задачу описания ножных мышц сильно облегчает то обстоятельство, что нога и рука очень похожи между собой. Отчасти мы намекали на это уже в первой лекции. Помните? Как в той, так и в другой верхний отрезок образован одной костью, средний—двумя, а краевой—кисточкою, оканчивающейся пятью пальцами. Расположения сочленений на руке и на ноге тоже очень похожи: на самом верху шаровое трехосное сочленение, следом за ним кнаружи одноосное; между средним и краевым звеньями двухосное сочленение; наконец, еще одна степень подвижности где-то на протяжении среднего звена (пронация и супинация предплечья, вращение голени вокруг продольной оси внутрь и наружу). Более того, если бы вы вздумали сравнить между собой формы соответствующих костей руки и ноги, то вы и тут усмотрели бы порядочное сходство. Все эти сходные черты заставляют нас задать себе вопрос: а нет ли такого же близкого сходства и между мышцами верхней и нижней конечностей?

Если вы заглянете в анатомический атлас, то, увы, там почти никакого подобия не обнаружится. Вам покажется, что ножные мышцы смонтированы по совершенно новому плану, в котором трудно подыскать какие-нибудь уже знакомые черты. Особенно сбивают с толку мышцы таза и тазобедренного сочленения. Эти мышцы очень мучительны для студентов-медиков, потому что их много, расположены они под разными углами друг к другу, всячески пересекаются и скрещиваются и, в конце концов, непонятно, для чего служат. Но погодите приходить в отчаяние.

Ничего нет мудреного, что вы не обнаруживаете единства плана у человека. Слишком различны у него назначения верхних и нижних конечностей, слишком различны механические задачи, которые им приходится разрешать. Если здесь и был когда-либо общий план, то он давно и неминуемо должен был затушеваться, извратиться из-за изменившихся условий. А вот обратимся к тем позвоночным животным, у которых обе пары конечностей несут приблизительно одинаковые обязанности, и посмотрим, не будет ли общий план яснее именно у них.

Рис. 38. Вид правой лопатки сзади.

Прежде всего разберемся еще раз в костях и посмотрим, что чему соответствует в плечевом и тазовом поясе. Лопатка, как вы может быть помните, состоит из двух частей: к позвоночнику, т.-е. к спинной стороне, обращена пластина, а к брюшной стороне подвернуты два стерженька: ключичный и клювовидный отросток (рис. 38). Каждая из тазовых костей построена так же точно: к спинной стороне обращена пластина, а к брюшной два стерженька. Эти стерженьки называются в тазу лобковыми и седалищными частями. И в лопатке и в тазу сочленовная впадина, к которой присоединяется верхняя кость конечности, лежит в промежутке между обоими стерженьками.

Кроме того, не забудьте еще одной вещи, о которой тоже упоминалось в первой лекции. Я имею в виду то, что передняя и задняя конечности обращены друг к другу. Все это вы очень хорошо разглядите на рис. 39. Все то, что в передней конечности глядит назад, то в задней конечности, напротив, глядит вперед. Сравните, например, локоть и колено, направления пле-

чевой и бедренной костей и т. д. на нашем рисунке, изображающем скелет собаки.

Начнем сравнение мышц обеих конечностей. Тот рисунок, что я показал вам сейчас, должен сразу вас несколько успокоить. Посмотрите, какая громадная симметрия существует между мышцами той и другой конечности. На рисунке соответствующие друг другу мышцы нарисованы одинаковыми пунктирами и помечены одинаковыми номерами.

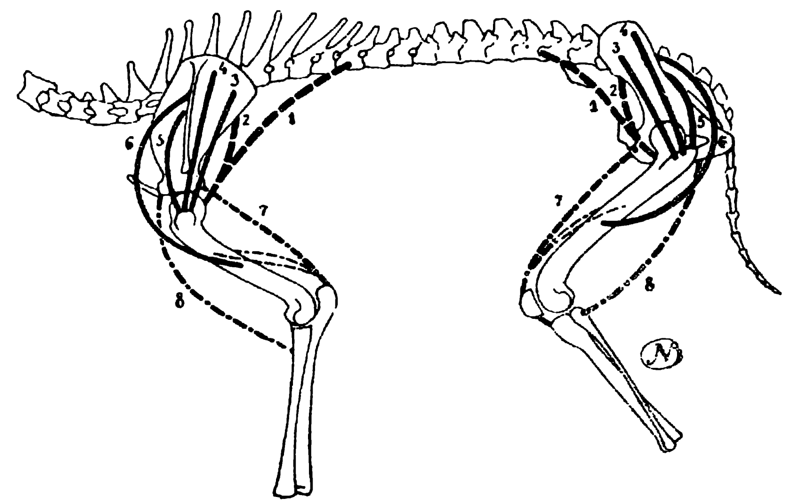


Рис. 39. Схема, изображающая расположение мышц передней и задней конечности четвероногого млекопитающего. Соответственные мышцы нарисованы одинаковыми пунктирами и помечены одними и теми же номерами.

В верхней конечности мы разделили мышцы плечевого сочленения на две группы, коротких и длинных мышц. Такие же группы можно бы наметить и около тазобедренного сочленения. Одна из длинных мышц плеча (широкая мышца спины) начинается далеко назади от позвоночника и тянется вперед к головке плеча (точнее говоря, к малому бугру). Точно такого же типа мышца есть и около тазобедренного сочленения: она начинается на позвоночнике далеко впереди и тянется назад опять-таки к головке бедра (точнее—к бугру, называемому малым вертелом бедра). На нашем рисунке эта мышца имеет № 1. Сходство той и другой доходит до того, что у каждой из них есть по придатку, начинающемуся от пластин лопатки и тазовой кости (№ 2). Описанная нами сейчас мышца носит назва-

ние пояснично-подвздошной мышцы и служит главным сгибателем бедра. Из рисунка совершенно ясно ее назначение.

Как и в плечевой области, у этой мышцы есть противник— антагонист. На плече таким антагонистом является дельтовидная мышца; здесь эта мышца лежит на задней стороне таза, имеет громадный размер (еще больше дельтовидной) и работает как разгибатель бедра. Называется она большая седалищная мышца. (Рис. 39, 6) Именно она образует округлость седалища и хорошо видна снаружи на живом человеке. На рис. 40 изображены подвздошная и большая седалищная мышцы человека и показано, как они действуют.

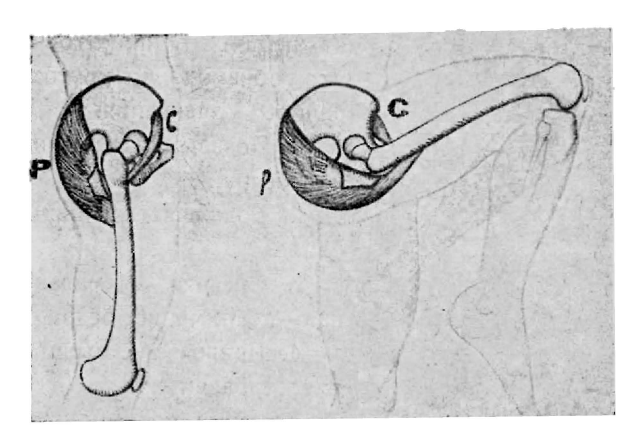


Рис. 40. Сгибатели (С) и разгибатели (Р) тазобедренного сочленения и их действие. (По Моллиеру).

Для большой грудной мышцы тоже есть своя соответствующая мышца в тазовом поясе, но там она очень мала и для нас с вами не имеет значения: мы ее и оставим без внимания. Зато короткие мышцы плечевого сочленения отображены в тазу очень картинно и имеют первостепенную важность.

Может быть, вы помните, что от нижней части лопаточной пластины тянулась к большому бугру плеча мышца, называемая подостною. Анатомы различают здесь даже целых две сливающиеся между собой мышцы (на рис. 39 №№ 3 и 4). В тазу соответствующие мышцы (тоже №№ 3 и 4) тянутся тем же порядком от тазовой пластины к большому вертелу бедренной кости. Обе эти мышцы—средняя и малая седалищные—поднимают бедро в сторону. На рисунке 41 изображены эти мышцы у человека.

Наконец, небольшая клювовидная мышца плеча (от клювовидного отростка лопатки к внутренней поверхности плеча) превратилась в нижней конечности в громадный пакет мышц, которые соединяют лобковую часть таза с внутренней стороной бедренной кости. Весь этот пакет имеет название приводящих мышц бедра; название, конечно, неправильное, потому что на самом деле они не приводят бедро, а только опускают его снаружи внутрь. И эти мышцы хорошо видны на рис. 41.

Мы оставляем без внимания мышечную мелочь, которой в тазу порядочно; но и ее можно было бы без труда привести в соответствие с мышцами плеча. Мы лучше сделаем сводку тех четырех важнейших групп, которые мы пока что обнаружили кругом тазобедренного сочленения:

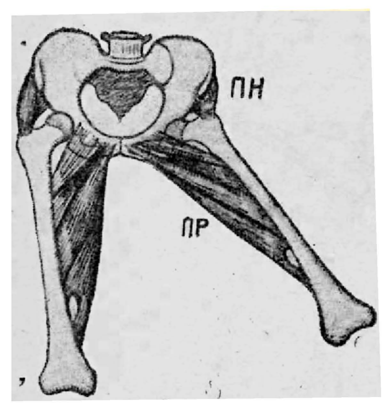


Рис. 41. Мышцы, поднимающие бедро наружу (ПН) и „приводящие" мышцы бедра (ПР). (По Моллиеру).

1. Подвздошная мышца—сгибание бедра.

2. Большая седалищная—разгибание.

3. Средняя и малая седалищная—поднимание бедра наружу.

4. Приводящие мышцы—опускание бедра внутрь.

Заметим к слову, что на самом деле действие этих механических групп совсем не так просто и однородно, как здесь описано. Очень многое зависит от исходного положения бедра, взаимодействия разных мышечных групп и т. д. В общем можно сказать, что наши четыре основные группы могут двигать бедро по всевозможным направлениям в границах его подвижности. Мелкие, не описанные нами мышцы, отчасти помогая главным, заведуют в то же время вращениями бедра вокруг его собственной продольной оси.

Разберем еще, почему в тазовом поясе так велика и сильна группа приводящих мышц. Здесь секрет все в тех же свойствах арки, о которых мы говорили не раз. Тяжесть тела давит на таз с середины, а точки опоры у него по сторонам. Значит, таз вместе с обеими ногами есть тоже арка и, как таковая, нуждается внизу в растяжке. Между тем, конечно, связать ноги

между собой внизу нельзя; приходится сооружать растяжку иначе. Из рис. 41 хорошо видно, что приводящие мышцы и являются как раз требуемой растяжкой. Они не дают ногам раз'ехаться в стороны под действием тяжести тела, и момент их для этой цели должен быть довольно велик.

Перейдем к мышцам, управляющим коленным сочленением. Как и в локтевом сочленении, здесь имеется всего две группы антагонистов. Не забудьте, что мышца, сидящая на плече сзади, должна отразиться на ноге в виде мышцы, сидящей спереди, и наоборот. Так вот, трехглавому разгибателю локтя в точности соответствует на ноге четырехглавый разгибатель колена (рис. 39, № 7). Как и там, длинная головка переходит и через шаровое (тазобедренное) сочленение. Короткие головки обрастают бедренную кость со всех сторон. Только коротких головок здесь не две, а целых три.

Есть еще одна замечательная разница между локтевым и коленным разгибателем. Локтевой разгибатель кончается внизу на длинном крюке локтевой кости. У коленного разгибателя такой же крюк как бы оторвался от большой берцовой кости и повис в середине мышечного сухожилия, прямо над коленным сочленением. Это есть косточка, которую называют коленной чашкой. Как видите, коленная чашка не есть самостоятельная кость, а своего рода костная мозоль, развившаяся в сухожилии, там, где оно огибает сочленение и трется о него.

Интересно добавить, что разгибатель колена в общем слишком короток. Его хватает на одно сочленение, но обслуживать оба сочленения, через которые он проходит, без взаимной помехи ему не всегда удается. Попробуйте согнуть ногу в колене, а затем разгибать ее же в тазобедренном сочленении. Когда дойдете до такого положения, дальше которого бедро у вас не идет, распрямите колено и вы увидите, что сейчас же разгибание бедра можно будет продолжить еще градусов на 15. Вы ослабили натяжение вашей мышцы в колене, и только тогда она предоставила вам свободу действия в тазобедренном сочленении.

На противоположной, сгибательной стороне бедра и колена лежат не две (как в верхней конечности), а целых три сгибательных мышцы. Одна из них (помеченная на рис. 39 № 8) в точности соответствует бицепсу или двуглавой мышце плеча и даже название имеет такое же: бицепс, или двуглавая мышца бедра.

Та прикреплялась к лучевой кости, эта—к малой берцовой. Начинается ножной бицепс частью от бедра, частью от таза. Действие его понятно само собою.

Вместо одной внутренней плечевой мышцы на бедре сидит целых две. Начинаются они обе от того же седалищного бугра, что и длинная головка бицепса, а книзу расходятся от него вилкой к внутреннему краю большой берцовой кости. Бицепс бедра и кусок четырехглавого разгибателя показаны на рисунке 42.

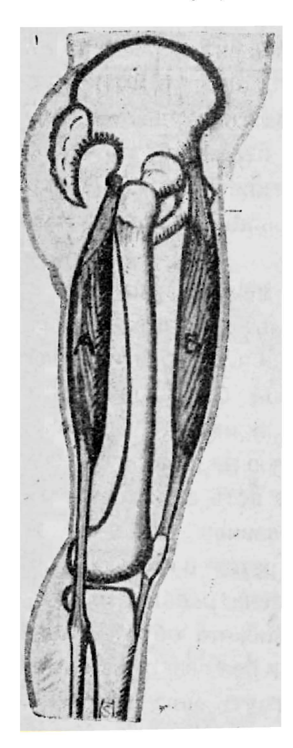


Рис. 42. Двуглавый сгибатель колена (A) и разгибатель колена (B). (По Моллиеру).

И сгибатели колена тоже несколько коротки. Здесь это еще заметнее, чем на разгибателе. Опять проделаем опыт, на этот раз наоборот. Выпрямите колено и поднимайте ногу вперед, т.-е. сгибайте бедро. Когда дойдете до предела и почувствуете характерную боль в подколенной ямке, согните колено. Тотчас же боли как не бывало, и бедро можно будет согнуть еще градусов на 45, а то и больше. Причина этому опять та же: недостаточная растяжимость мышц; а почему она так действует, попробуйте об'яснить сами.

На голени сходство мышц с мышцами предплечья сильно затушевано даже у четвероногих. Поэтому мы покинем нашу схему, столько раз нам помогавшую, и постараемся рассказать о мышцах голени коротко и ясно без всяких сравнений.

На голени замечательна одна вещь. Усажена она с нескольких сторон жиденькими, слабыми мышцами, которые легко устают и не могут нести серьезной работы. И вдруг, рядом с этими чахлыми мышцами горой возвышается одна большая и исключительно сильная, которая заведует разгибанием стопы.

В чем тут дело? Почему именно разгибание стопы получило такие несоразмерные привилегии? Почему именно здесь воздвигнута мышца-гигант рядом с мышцами-карликами?

Причина по всей вероятности в том, что только эта тяжеловесная мышца выполняет постоянную и ответственную работу.

Остальные помещены как будто только для формы, потому что надо же обеспечить стопе активную подвижность по тем направлениям, которые предоставлены ей устройством голеностопных сочленений. Работать же им приходится редко и мало.

Великан, о котором я сейчас сказал, есть икроножная мышца, — то, что в просторечии называют икрами. Эта мышца лежит на задней стороне голени и начинается как от костей голени, так и от нижних концов бедра. Местом прикрепления ее внизу служит огромный рычаг, образуемый далеко выдающейся назад пяточной костью. Сказать к слову, и плечи рычагов остальных мышц голени так же не велики, как сами мышцы.

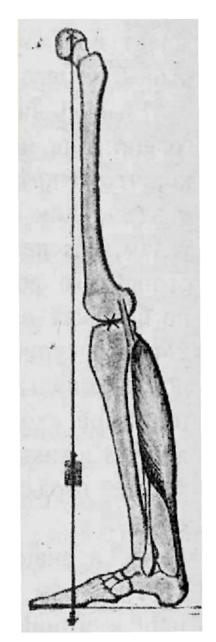


Рис. 43. Икроножная мышца и ее роль при при стоянии. (По Моллиеру).

Рис. 43 ответит вам на то, какую роль играет икроножная мышца при стоянии. Вы видите, что в большинстве случаев голени, а иногда и бедра, наклонены немножко вперед. Центр тяжести туловища (а что это такое и как его найти, мы скажем еще сегодня) оказывается немного впереди от обоих голеностопных сочленений. Поэтому нормальное положение вещей таково, что все тело стремится завалиться вперед. Этому-то заваливанию и препятствуют икроножные мышцы. Ведь при падении вперед произошло бы сгибание стоп в голеностопных сочленениях, и потому икроножная мышца, действуя как разгибатель стопы, препятствует падению и уравновешивает тело в стоячем положении.

Еще важнее роль икроножной мышцы при ходьбе, а также беге, прыжке и т. д. Проследите за собою сами и вы увидите, что все эти движения совершаются за счет отталкивания носком ноги от земли, т.-е. за счет разгибания стопы. Я прибавлю еще, что не только начало, но и конец прыжка, конец каждого шага при ходьбе и беге сильнейшим образом зависят от деятельности икроножной мышцы. В этих случаях она действует, как рессора, смягчая и ослабляя всякого рода толчки. Очень посоветую вам спросить у кондуктора автобуса, что у него к вечеру болит больше всего? Рессорная роль требует от заведующей этим делом мышцы особого постоянства и неутоми-

мости; поэтому-то икроножная мышца и является такой сильной и так выгодно поставленной. Это прекрасный работник, и человек непременно использует его везде, где только это возможно. Девицы, нажимающие на педаль велосипеда серединой стопы, а не носком (таких сейчас в Москве много), поступают совершенно безграмотно. Во всех работах педалями необходимо приспосабливать для работы икроножную мышцу. Добавлю еще, что педаль ножных швейных машин также глубоко безграмотна биомеханически, так как ось ее проходит посередине и вынуждает пользоваться не только разгибателем, но и сгибателями стопы, отчего нога неизбежно скоро устает.

Нам не придется разбирать в отдельности мелкие мышцы голени: они не имеют для нас большого значения. Укажу только, что некоторое сходство с мышцами предплечья сохраняется и здесь. Как и на предплечьи, четыре мышцы, расставленные по углам, обеспечивают двухосному сочленению между голенью и стопой его подвижность. Как и на предплечьи, мышцы пальцев ноги лежат в значительной части на голени. Конечно, пронаторов и супинаторов на голени уже нет. Но, кроме того, мышцы ножных пальцев получают гораздо более сильное подкрепление на самой стопе, нежели мышцы ручных пальцев имеют на ладони. Нижняя сторона стопы выстлана целой подушкой из таких мышц, играющей немалую роль в поддержании эластичности стопы.

Если знакомство с ручными мышцами нужно было нам для того, чтобы осмыслить руку как рабочий орган, то интерес наш к мышцам ноги определяется другим. При изучении трудовых процессов нога интересует нас в первую очередь как опора тела; как говорят иногда, в ноге нам важна не столько динамика, сколько статика. Но вот для того, чтобы обозреть ножные мышцы и их назначение с этой точки зрения, нам надо сперва познакомиться с основными понятиями равновесия человеческого тела и его частей.

Начнем с изучения центров тяжести человеческого тела и отдельных его звеньев. Основное свойство центра тяжести какого-нибудь тела, как известно, таково: это есть точка, через которую проходит при всех возможных положениях данного тела равнодействующая силы тяжести. Боюсь, что такое определение для вас не совсем понятно. Подойдем к нему несколько со стороны.

Возьмем велосипедное колесо, сидящее на своей оси. Приподнимем слегка велосипед и посмотрим, что сделается с колесом. Как вы видите, оно очень медленно начинает поворачиваться, совершает некоторый размах, потом пускается в обратную сторону и продолжает совершать все ослабевающие качания в ту и в другую сторону, пока, наконец, не успокоится совсем. Отчего колесо пришло в движение?

Слушатели. Может быть, в начале был толчок?

Лектор. Может быть. Давайте проверим. Вот я поднимаю велосипед очень осторожно, придерживая колесо рукой. Теперь, уже поднявши, я осторожно отнимаю руку от колеса: оно тотчас же начинает качаться. Всмотритесь в колесо внимательнее. Оно не вполне симметрично: на одной стороне его находится металлический вентиль, через который накачивают шину. У меня с собой есть другой отломанный вентиль. Я привяжу его к колесу на прямо противоположной стороне. Теперь повторим опыт: вы видите, колесо и не думает качаться.

Вот у нас есть небольшая совокупность наблюдений; разберем их механически. Колесо велосипеда, как и всякое тело, имеет вес, значит оно стремится падать вниз. Такое стремление вниз свойственно, конечно, и всякой отдельной частице колеса. Однако в нашем втором опыте ни все колесо в целом, ни одна из его частиц не опускаются вниз — следовательно, что-то их удерживает. Посмотрим, могут ли все частицы колеса одновременно опускаться вниз? Очевидно, нет, так как мы удерживаем колесо на определенной высоте за его ось. Значит, неизбежно если одни из частиц будут опускаться вниз, другие должны будут подниматься кверху.

Вы знаете, что работа измеряется произведением груза на перемену высоты этого груза. Единицей работы мы считаем килограммометр, т.-е. работу, затрачиваемую при поднятии одного килограмма на один метр. Если тот же килограмм опустится на метр, то он возвратит такую же порцию работы. Повернем на некоторый угол наше колесо. Одни его частицы поднялись, т.-е. поглотили работу, другие частицы опустились, т.-е. отдали работу. Если работа всех частиц, которые поднялись, в точности равна общей работе всех частиц, которые опустились, то, значит, работа колеса в целом есть нуль. А так как движение под действием силы всегда сопровождается на-

стоящей, не нулевой работой, то значит — на движение нашего колеса никакие силы не действовали. Следовательно, колесо находится в равновесии.

Итак, равновесие имеет место тогда (и только тогда), когда общая работа тела при небольшом смещении равна нулю. В случае симметричного колеса это правило проявляется особенно просто. Против каждой из его частиц по другую сторону оси лежит на таком же расстоянии другая, равная ей, которая всегда совершает как раз противоположные движения с первой частицей. Работа каждой такой пары при неподвижной оси всегда равна нулю.

В колесе с одним вентилем он один только без пары, и поэтому сила тяжести действует на него и заставляет отдавать работу. Достаточно и ему пристроить пару, чтобы все уравновесилось вновь.

Каковы же условия, требующиеся для того, чтобы пара точек была в равновесии? Мы знаем, что для этого работы, совершаемые ими при любом смещении, должны быть постоянно равны и взаимно противоположны. Ясно, что чем точка ближе к оси вращения, тем меньшие перемещения вверх и вниз она может совершать. А так как работа — это произведение груза на вертикальное перемещение, то для сохранения постоянства этого произведения надо делать первый сомножитель его (груз) тем больше, чем меньше второй сомножитель (т.-е. чем меньше радиус). Мы знаем, что произведение груза на радиус есть момент груза; значит, для равновесия требуется, чтобы моменты обеих точек нашей пары были равны и противоположны.

Обратимся теперь к случаю, когда требуется уравновесить не две точки, а три или больше зараз. Здесь рассуждение будет такое же точно. Вы уже видели, что когда момент даже маленькой группы частиц, сосредоточенных в вентиле, отличался от нуля, тотчас же этот момент начинал совершать работу, и колесо приходило в движение. Отсюда делаем такой вывод: для того, чтобы имело место равновесие тела, насаженного на ось, необходимо, чтобы совокупный момент всех частиц тела относительно этой оси равнялся нулю. Та точка тела, относительно которой совокупный момент всех частиц равен нулю, и есть центр тяжести тела.

Вам понятно, что тело, которое поддерживается нами за центр тяжести и потому пребывает в равновесии, все же не

теряет ни одной доли своего веса. Если колесо весит один килограмм, то вся эта тяжесть одного килограмма давит через ось на точки ее опоры. Это значит прежде всего то, что действие тяжести всех отдельных частиц тела можно как бы заменить действием одной единственной силы, которая равна весу нашего тела и приложена к центру тяжести тела. Попробуем теперь подпереть тело в какой-нибудь другой точке в стороне от центра тяжести. Попрежнему равнодействующая тяжести нашего тела будет приложена в центре тяжести, но на этот раз точка ее приложения окажется уже в стороне от точки опоры. Следовательно, на этот раз сила тяжести будет иметь определенный момент. Пусть, например, тяжесть тела есть один килограмм, а расстояние от центра тяжести до точки опоры — 0,1 метра (10 сантм.). Момент тяжести составит в этом случае 0,1 килограммометра, и именно этот момент определит собой движение нашего неуравновешенного предмета.

Покончим теперь с отвлеченными рассуждениями и попробуем применить наши выводы к биомеханике. Вообразите, что мы закрепили в пространстве плечо, а предплечье может свободно совершать качания вокруг оси локтевого сочленения. Какова должна быть сила мышц, движущих предплечье, для того, чтобы уравновесить его или сдвинуть с места? Ответить на это можно только в том случае, если знать вес предплечья и положение центра его тяжести.

Не буду рассказывать вам, каким образом ученые определили эти веса и положения. Практически вам следует иметь понятие о самых значениях этих весов и расположений. Однако, чтобы дать вам понятие о способах такого рода определений, я раскажу об одной из старых работ, посвященных определению положения центра тяжести всего тела в целом.

Человека нормального телосложения клали на деревянную доску в спокойном положении. Потом под эту доску клали брусок, заостренный кверху, на котором доска могла покачиваться, как качели. Передвигая брусок вперед и назад, добивались такого положения, при котором доска с лежащим на ней человеком оказывалась в точности в равновесии. Положение бруска зарисовывали после этого на доске. Затем брусок поворачивали под прямым углом и снова искали положения равновесия тем же порядком. Точка пересечения обоих найденных положений бруска приходилась, очевидно, как раз под общим центром

тяжести человеческого тела и доски. Зная положение центра тяжести доски, можно было без труда подсчитать положение центра тяжести одного только тела.

Прежде всего дам вам представление о средних значениях веса отдельных звеньев человеческого тела. Эти значения подсчитаны для человека нормального телосложения, весящего 60 килограмм. Если кто предпочитает пуды и фунты, пусть пересчитает сам.

Названия звеньев.	Веса звеньев. Кгр.	Отношение весов звеньев к весу тела.
1. Голова	4,236	0,0706
2. Туловище.	25,620	0,4270
3. Бедро	6,948	0,1158
4. Голень	3,162	0,0527
5. Стопа.	1,074	0,0179
6. Плечо	2,016	0,0336
7. Предплечье	1,368	0,0228
8. Кисть.	0,504	0,0084
9. Голова+туловище.	29,856	0,4976
10. Голень+стопа. . .	4,236	0,0706
11. Вся нога	11,184	0,1864
12. Предплечье+кисть.	1,872	0,0312
13. Вся рука	3,888	0,0648
14. Обе ноги.	22,368	0,3728
15. Обе руки.	7,776	0,1296
16. Туловище+голова+ +обе руки. . . .	37,632	0,6272
17. Все тело	60,000	1,0000

Теперь можно перейти к вопросу о том, как именно расположены центры тяжести всех этих звеньев внутри их. Здесь мы встречаемся с некоторыми затруднениями. Во-первых, центр тяжести каждого звена, например плеча или предплечья, не сидит в точности на одном месте. Ведь мышцы и кожа не неподвижны, а немножко смещаются, следовательно, смещается и центр тяжести. Во-вторых, определить на живом человеке, где у него лежит центр тяжести плеча или голени, невозможно; а если определить эти положения каким-нибудь косвенным образом (например, на трупе) раз навсегда, то кто поручится, что

эти измерения подойдут ко всякому живому человеку? По счастью, для вас не требуется особой точности, а если отвечать на вопрос приблизительно, то эти мелкие уклонения не имеют особого значения. В качестве нескольких удобно запоминаемых правил укажу вам вот какие положения.

Если вы проведете мысленно прямые линии вдоль каждого из длинных звеньев (т.-е. вдоль плеча, предплечья, бедра и голени) так, чтобы эти линии проходили через центры обоих пограничных сочленений данного звена, то окажется следующее. Во-первых, во всех этих звеньях центры тяжести лежат на проведенных вами линиях, которые мы назовем осями звеньев. Во вторых, расстояния этих центров тяжести от центров пограничных сочленений относятся между собою во всех случаях приблизительно, как 4:5. Постоянно к центральному сочленению центр тяжести лежит немного ближе, чем к дальнему.

С кистью и стопой дело обстоит тоже довольно благополучно. Если за ось стопы считать прямую, проходящую от конца пяточного бугра к концу второго пальца, то центр тяжести стопы лежит на этой оси и делит ее на части опять-таки приблизительно в отношении 4:5. Что касается кисти, то вследствие ее подвижности центр ее тяжести постоянно сильно блуждает, поэтому для него нельзя указать постоянного места жительства. По счастью, вес кисти очень мал ($^1/_2$ килогр.), и по тому свободно можно отвлечься от всех ее мелких движений. Если для приближения вообразить себе кисть неподвижно связанной с предплечьем, то можно удовлетвориться знанием положения центра тяжести обоих этих звеньев вместе взятых. Для этого продолжим ось предплечья дальше, до кончиков пальцев. Общий центр тяжести предплечья и кисти лежит тогда (опять-таки, конечно, приблизительно) на этой оси и расположен вдвое ближе к лучезапястному сочленению, чем к локтевому.

Гораздо труднее определить положение центра тяжести туловища: очень уж оно гибко и постоянно меняет свою форму. Мы наметим место центра тяжести туловища при спокойном стоячем положении. В этом положении центр тяжести отыщется так. Проведите горизонтальные прямые линии, соединяющие между собою соответственно оба плечевых и оба тазобедренных сочленения. Расстояние между серединами этих прямых разделите опять-таки в отношении 4:5 (так, чтобы верхний отрезок соответствовал 4, а нижний 5). Тогда место раздела

будет искомый центр тяжести. Наконец, центр тяжести головы лежит внутри черепа, немного повыше линии, соединяющей оба ушные отверстия.

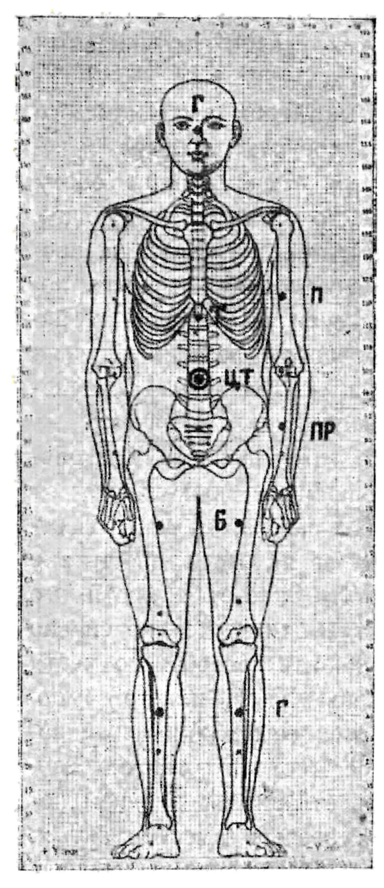


Рис. 44. Схема скелета, показывающая расположение центров тяжести.

Г — центр тяжести головы.
Т — „ „ туловища.
П — „ „ плеча.
ПР— „ „ предплечья.
Б — „ „ бедра.
Г — „ „ голени.
ЦТ— „ „ всего тела.
(По Р. Фикку).

Все эти данные и приемы, может быть, лучше закрепятся в вашем воображении, если вы внимательно рассмотрите рисунок 44. На этом рисунке изображена человеческая фигура спереди. Вся площадь рисунка разделена на мелкие клетки, которые соответствуют одному сантиметру натуральной величины каждая. Положения всех тех центров тяжести, о которых сейчас говорилось, нанесены на этом рисунке кружками.

Мне придется еще на несколько минут вернуться к теоретической механике. Надо выяснить, как найти центр тяжести системы, состоящей из двух предметов, если известны веса этих предметов и положения центров тяжести в каждом из них. Как ни странно, но эта задача решается гораздо проще, нежели задача отыскания центра тяжести каждого из предметов, взятых в отдельности. Следует только помнить, что центр тяжести тела—это точка, через которую проходит равнодействующая силы тяжести. Иными словами, мы можем считать, что вся тяжесть каждого из наших тел как бы сосредоточена в одной этой точке. Следовательно, задача, которую мы сейчас себе поставили, превращается в другую гораздо более легкую: в задачу нахождения центра тяжести системы, состоящей всего-на всего из двух точек, при чем веса и положения

обеих точек известны. А эту задачу мы уже решили в сегодняшней лекции. Чем больше груз, тем он ближе должен лежать к центру тяжести; расстояния грузов от центра тяжести обратно пропорциональны самим грузам. Итак, центр тяжести системы, которая состоит из двух весящих точек, находится на одной прямой с обеими этими точками и делит расстояние между ними на отрезки, обратно пропорциональные грузам, сосредоточенным в обеих точках.

Взгляните на рис. 45. На нем схематически изображены сочлененные между собой в локте плечо и предплечье с кистью. Центры их тяжести обозначены соответственно буквами a_1 и a_2. Центр тяжести всей руки вместе должен лежать на одной прямой с обеими этими точками, т.-е. в какой-то точке S. Его расстояния от a_1 и a_2 должны быть обратно пропорциональны с весами плеча и предплечья. (В этом примере мы все время рассматриваем предплечье заодно с кистью). Итак, отрезок r_1 относится к отрезку r_2, как вес предплечья к весу плеча. Отсюда вытекает очень простой графический прием для определения положения такого совокупного центра тяжести.

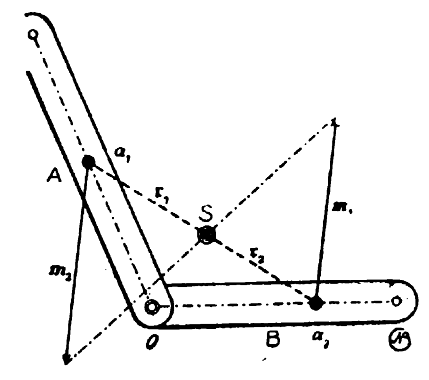


Рис. 45. Центр тяжести двух сочлененных звеньев (S) и способ его нахождения. Центр тяжести A лежит в a_1, центр тяжести звена B—в a_2. Пояснения остальных букв и линий — в тексте.

Отложите от центра тяжести первого звена, a_1, в любом направлении отрезок m_2, изображающий в каких угодно единицах вес второго звена (рис. 45). Из центра тяжести второго звена проведите линию параллельно первой, но в противоположную сторону и на ней отложите в тех же единицах вес первого звена. Затем соедините прямыми линиями, во-первых, центры тяжести обоих звеньев, во-вторых, концы проведенных сейчас весовых отрезков. Точка пересечения обеих этих линий и будет общий центр тяжести S.

Понятно, что этот общий центр тяжести плеча и предплечья не сидит на одном месте, а все время меняет свое положение в зависимости от изменений локтевого угла. Поэтому угнаться

за ним довольно трудно. Хорошо, что вам в вашей повседневной практике это, вероятно, никогда и не понадобится. Если я, тем не менее, рассказывал вам об этом способе, то это потому, что он понадобится нам сегодня же для другой несколько неожиданной цели — именно для определения рациональной стойки. Запомните пока, что центр тяжести нашей пары постоянно делит расстояние между центрами тяжести ее частей в одном и том же отношении.

Это свойство центра тяжести системы дало возможность немецкому ученому Фишеру сконструировать модель, с помощью которой можно для всякого положения тела и его частей определить положения центров тяжести каждой такой части и всего

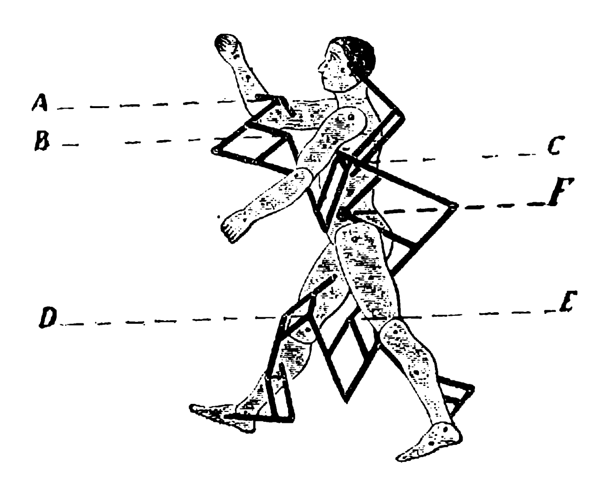


Рис. 46. Шарнирный человек для определения положений центров тяжести. Об'яснения в тексте. (По О. Фишеру).

тела вместе. Такая модель представлена на рисунке 46. Вы видите, что эта модель есть шарнирный человек, снабженный довольно сложной системой рычагов. Эти рычаги устроены так, что места их соединений постоянно указывают положения центров тяжести. Некоторые из соединений обозначены на рисунке 46 буквами. *A* — есть положение центра тяжести правой руки, *B* — положение центра тяжести обеих рук вместе, *C* — центр тяжести туловища и головы, *D* — центр тяжести правой ноги, *E* — центр тяжести обеих ног вместе. Наконец, *F* отмечает положение центра тяжести всего тела.

Уже из этой модели видно, что центр тяжести всего тела должен очень сильно менять свое положение при движении тела. Было бы очень трудно, не имея в руках модели рисунка 46, отдать себе отчет в том, где он находится в каждую данную минуту. Между тем знание его положений и движений, хотя бы приблизительное, могло бы иметь огромное практическое значение. Поэтому я обучу вас, как приблизительно находить эти величины для разных случаев.

Прежде всего условимся, что́ понимать под так называемой нормальной стойкой. Такая стойка изображена на той самой разграфленной схеме (рис. 44), которую мы сегодня уже рассматривали. Эта стойка более или менее соответствует обычной стойке во фронте при команде «смирно», только без всяких напряжений и преувеличенных выпячиваний груди. Эта стойка тем замечательна, что при ней центры тяжести всех частей тела (кроме только стоп) лежат одни над другими в одной и той же вертикальной плоскости.

При нормальной стойке центр тяжести всего тела лежит тоже в этой центральной плоскости. Вы помните, что центры тяжести звеньев находятся на прямых линиях, соединяющих центры сочленений. При нормальной стойке и центры сочленений тазобедренных, коленных и голеностопных лежат опять-таки в той же центральной плоскости.

У нормального человека центр тяжести всего тела лежит при такой стойке на 4—5 см. выше линии, соединяющей оба тазобедренные сочленения. Если я покажу вам, как найти эту линию, то по крайней мере при нормальной стойке вы будете точно знать, где лежит этот центр тяжести. На наружных сторонах бедер, тотчас же под краешками тазовых костей прощупываются под кожей костные выступы. Это суть те самые большие вертела бедер, о которых мы говорили уже в начале лекции, и которые изображены на рисунке 41. Если вы нащупаете с обеих сторон верхушки больших вертелов и соедините их мысленно прямою линией, то эта линия будет как раз проходить и через центры обоих тазобедренных сочленений.

Вообразите теперь, что человек стал в нормальную стойку, потом придал какое-нибудь новое положение одной руке, не меняя положений ни одной другой части тела. Что произойдет?

Взгляните на рис. 47. На нем опять-таки изображены две точки разного веса A и B и общий центр тяжести их S. Пред-

ставим себе, что A вдесятеро тяжелее B; тогда центр тяжести S лежит к A в десять раз ближе, чем к B. Пусть теперь A неподвижно, а B переехало в новое место B'. Из нашего рисунка вам вполне ясно, как переместится центр тяжести S. Он перейдет на прямую, соединяющую B' и A, и попрежнему будет вдесятеро ближе к A. Обозначим его новое положение S'. Вы видите, что треугольники ABB' и ASS' подобны между собою, при чем стороны первого в одиннадцать раз меньше, чем стороны второго. Поэтому смещение центра тяжести можно описать вот как.

Если одна часть системы остается неподвижной на своем месте, а другая часть смещается в некотором направлении на n сантиметров, то:

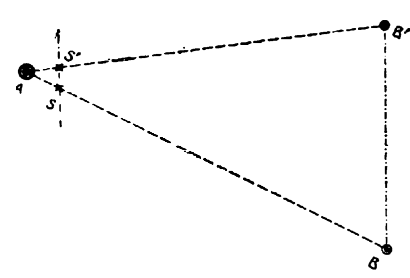


Рис. 47. Смещение центра тяжести, S, двух точек, A и B, из которых одна в 10 раз тяжелее другой. Об'яснение в тексте.

1) центр тяжести системы смещается по направлению параллельному с направлением, взятым сместившейся частью;

2) величина смещения центра тяжести будет во столько раз меньше n сант., во сколько раз вес сместившейся части меньше, чем вес всей системы вместе.

Вернемся для иллюстрации к нашему примеру человека, махнувшего рукой. Из таблицы, которую я вам уже приводил, следует, что вес всей руки составляет примерно $^1/_{16}$ веса тела. Поэтому, если он сместил центр тяжести своей руки на 16 сантиметров в какую-нибудь сторону, то центр тяжести его тела отошел от положения, которое он занимал при нормальной стойке, в ту же сторону на один сантиметр. Пользуясь этим приемом рассуждения, вы теперь всегда уследите за его блужданиями при несложных движениях.

Из этого, в конце концов, несложного правила, к которому мы подошли таким окольным путем, вытекает другое правило, уже совершенно практическое. Это новое правило указывает способ определения рациональной стойки при рабочей операции.

Излишне и говорить вам, как много споров сосредоточивается кругом вопроса о рациональном расположении ног при работе.

Всем вам хорошо известны положения, предложенные и предлагаемые ЦИТ'ом и другими подобными учреждениями. Вы сами не раз задавали мне вопрос о том, какой угол между ступнями правильнее при опиловке или рубке—в 67° или 70°. Может быть вам не так хорошо видно, как мне с моего места, до какой степени все эти цифры и предложения случайны и необоснованы. Очень часто эти цифры берутся прямо с потолка для того только, чтобы дать какое-нибудь постоянное правило и выявить научность своего подхода к делу. Между тем есть один прием, очень простой и научно единственно правильный, к которому почему-то никогда не прибегают.

Начнем опять с нормальной стойки. Среднее типичное положение стоп при нормальной стойке указано на рис. 48. Это есть действительно только среднее положение, и колебания от человека к человеку могут здесь быть довольно велики. Так или иначе каждый из вас имеет первичное удобное положение для нормальной стойки, и из этого-то положения мы и будем исходить.

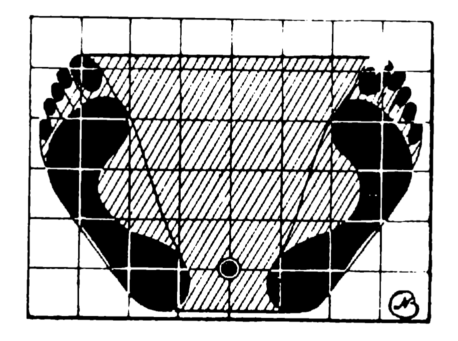


Рис. 48. Расположение стоп при нормальной стойке. Кружок—проекция центра тяжести тела. Площадь опоры тела заштрихована. Сторона каждого квадратика—5 см. (По Р. Фикку).

На том же рисунке 48 двойным кружком изображено положение точки, куда попадает отвес, опущенный из центра тяжести. Если центр тяжести передвинется на несколько сантиметров вперед, вправо и т. д., то и положение нарисованной точки переместится в плоскости пола на столько же сантиметров и в ту же сторону. Эту точку мы назовем проекцией центра тяжести.

Есть одно основное правило о центре тяжести. Это правило гласит так: пока проекция центра тяжести приходится внутри площади опоры, до тех пор равновесие может сохраниться, как только проекция вышла за пределы площади опоры, равновесие нарушено безусловно и восстановить его можно, только переместивши площадь опоры по-новому, так, чтобы проекция снова оказалась внутри нее. Площадью опоры называется, как

вы понимаете, площадь, заключенная между всеми крайними точками опирающихся о землю частей тела и прямыми линиями, соединяющими между собою эти точки. Площадь опоры человеческого тела вы получите, если соедините прямыми линиями кончики носков и кончики пяток обеих ног. Эта площадь, состоящая из площадей опоры каждой из ног и из пространства между ними, изображена на рис. 48 штриховкой.

Ясно, что чем ближе проекция центра тяжести тела к краю площади опоры, тем больше риска потерять равновесие. Действительно, при таком краевом положении достаточно уже маленького отклонения проекции, чтобы равновесие погибло. Вы видите на рис. 48, что при нормальной стойке проекция расположена в общем достаточно далеко в тылу.

Если нормальная стойка стоп достаточно хорошо приспособлена для спокойного стояния, то не так обстоит дело с работой. При работе части тела движутся, следом за ними движется и центр тяжести и его проекция, и есть опасность, что она с территории площади опоры ускользнет. Как поступить в этом случае? Понятно: надо увеличить, вытянуть площадь опоры как раз в том направлении, в каком странствует центр тяжести. А вы теперь умеете определять не только это направление, но даже и размах движения проекции.

Возьмите, например, рубку зубилом. Наблюдение за этим движением показывает, что общий центр тяжести руки и молотка перемещается в плоскости, составляющей угол примерно в 40—50° с фронтальной плоскостью. Перемещение его в этом направлении составляет 25—30 сантиметров. Значит, в том же самом направлении будет смещаться и центр тяжести всего тела. Вес руки с молотком составляет около 5 килограммов, т.-е. приблизительно $^1/_{12}$ веса всего тела; следовательно смещения центра тяжести тела при рубке составят около $^{30}/_{13}$ сантим., т.-е. около $2^1/_2$ см. Если бы движение руки с молотком при рубке было медленным и плавным, то нам достаточно было бы удлинить площадь опоры как раз на $2^1/_2$ см. и удлинить в том же точно направлении, в каком движется рука, т.-е. под углом 40—50° фронтальной плоскости.

В действительности движение руки при рубке быстро и порывисто, и потому полученную цифру смещения надо увеличить. Я не могу здесь привести вам всех необходимых расчетов; скажу только, что эту величину придется приблизительно

утроить, чтобы уравновесить еще и момент количества движения молотка. Эффект взмаха руки с молотком в общей сложности получается такой же, как если бы проекция центра тяжести тела смещалась на 7—8 см.

Отсюда вытекает простой рецепт рациональной стойки для рубки. Он вот каков. Встаньте в положение нормальной привычной стойки (рис. 48). Наметьте на полу положение проекции центра тяжести тела. От этого положения проведите прямую линию в обе стороны в направлении, в котором происходит удар. Затем сдвиньте каждую из стоп параллельно самой себе на $3^1/_2$—4 см. в направлении этой линии—одну вперед, другую назад. Полученная таким образом стойка есть несомненно лучшее, что вы в состоянии придумать.

Очевидно, все споры о 67° и 70° совершенно отпадают. Можно смело сказать, что при операциях, при которых размахи центра тяжести невелики, угол между стопами остается тот же самый, какой привычен данному человеку при нормальной стойке. Только положения стоп меняются. При операциях, требующих большого размаха центра тяжести (размашной удар молотобойца, строжка фуганком и т. д.), угол стоп будет меняться, но уже исключительно в силу того, что при широко расставленных ногах биомеханически удобнее брать бо́льший угол между стопами. Как определять рациональные стойки для различных трудовых операций, мы разберем в порядке семинарских бесед.

Лекция 7-я

Товарищи! Мы достаточно подробно разобрали в прошлых лекциях устройство человеческой машины и те правила, сообразно которым эти части собраны в одно работоспособное целое. Теперь пора поставить вопрос о том, что оживляет, что приводит в движение этот искусственный механизм. Нами разобраны машинные части корабля, называемого человеческой машиной, теперь следует обратиться к его капитанскому мостику. Таким капитанским мостиком является центральная нервная система, т.-е. совокупность головного и спинного мозга.

Раньше, чем говорить о строении мозга, обдумаем вкратце, какие задачи приходится ему выполнять, каковы обязанности, связанные с должностью центральной нервной системы.

Прежде всего это есть орган, который находится в связи со всеми мельчайшими частями, органами и закоулками человеческого тела. Он имеет прямые провода чуть ли не к каждой клеточке, входящей в состав тела. Как увидите дальше, связь эта двоякого рода, но устройство и способ работы всех этих проводов в основных чертах одни и те же. Эти провода центральной нервной системы называются нервными волокнами или нервами.

На рис. 49 представлен вид нервного волоконца в продольном разрезе. То, что называют нервами в просторечии, есть в действительности целые кабели изолированных друг от друга нервных волоконец, каждое же отдельное волоконце много тоньше даже тех проволок, которые употребляются для обмотки телефонных электромагнитов: оно имеет всего одну, две сотые миллиметра в поперечнике.

Я не случайно сравнил нервное волоконце с изолированной проволокой. Способ их действия и само строение во многом похожи друг на друга. Взгляните на рис. 49. Вы видите, что волоконце имеет осевой стержень, одетый последовательно двумя оболочками. Исследования физиологов точно показали, что проводящей частью, проводом в собственном смысле является только срединный стержень волоконца, а обе оболочки служат в точности для того же, для чего и обмотка электрических проводов: и та и другая предназначены для разделения, изоляции рядом лежащих волоконец друг от друга.

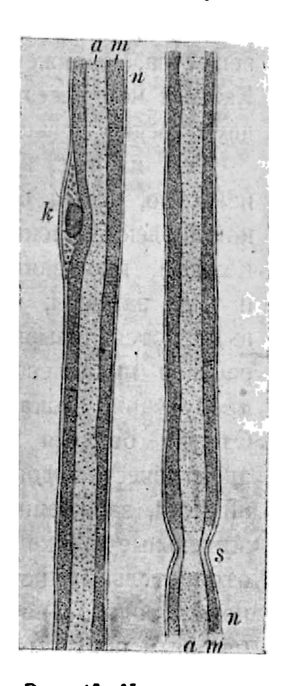


Рис. 49. Нервные волокна под микроскопом. Проводящая часть в середине, кругом — изолирующие обкладки. (По Розенталю).

Вам известно, что телефонная и телеграфная связь по проволоке осуществляется с помощью электрического тока, распространяющегося по этой проволоке. Уместно спросить, за счет чего же осуществляется связь между точками человеческого тела по нервным связующим волокнам. Похож ли тот сигнал, который бежит по нервному волокну, на электрический ток или нет?

И похож и нет. Несомненно одно, что нервные явления суть самые настоящие электрические явления. Организм животного и человека осуществил у себя электрическую связь за сотни тысячелетий до того, как человечество додумалось до такой связи в своих государствах и городах. Занятно будет отметить, что способа сношений, похожего на почту, с непосредственной переноской и пересылкой пакетов человеческая машина тоже не избежала; и самое занятное это то, что «почтой» в человеческом организме регулярно пользуются совсем другие органы и с другими целями, нежели мозг[1]). А мозг сносится с подчиненными органами тела исключительно по нервному телеграфу.

Разница между электрическими процессами в проволоке и таковыми же в нервном волокне прежде всего та, что в прово-

[1]) Железы внутренней секреции.

локе, как известно, нет движения частиц вещества. По проволоке, по которой идет электрический ток, несутся в одном направлении (от катода к аноду) мельчайшие частицы электричества — электроны. Я убежден, что каждый из вас, имевший дело с радиолюбительством, имеет понятие о том, что такое электроны. Так вот сигнал, несущийся по нервному волокну, хотя он тоже электрический, но переносится он с места на место частицами вещества, называемыми ионами. Это суть настоящие обломки вещества, заряженные, как бы нагруженные, электричеством. Каждый ион несет на себе заряд, как раз равный одному или двум (редко больше) электронам.

Тем из вас, кто занимался практически электротехникой, известно, может быть, что и в неживой природе есть случаи, когда электрические заряды переносятся на частицах вещества. Каждый, кто занимался гальванопластикой, никкелированием и т. д., замечал, что около полюсов, погруженных в раствор, выделяются пузырьки. Если одним из полюсов, погруженных в раствор никкелевой соли, служит железный предмет, то при пропускании тока на нем осаждается тонкий слой никкеля. Откуда берутся газовые пузырьки, никкель и т. д.? Теория электричества доказывает, что в растворе находятся частицы никкеля, заряженные положительным электричеством, т.-е. положительные никкелевые ионы, и эти-то ионы притягиваются отрицательным полюсом, погруженным в раствор. Такие точно ионы, только не никкеля, а других более легких металлов (главным образом калия и кальция), находятся постояннно и в нервном волокне и переносятся вместе со своими зарядами вдоль него. Однако есть еще одна небольшая разница между электрическим током в растворе и процессом, совершающимся в нервном волокне. Дело в том, что, когда ток идет по раствору, то он в конце концов переносит большие порции вещества от полюса к полюсу и осаждает это вещество на полюсах. В нервном волокне такого осаждения не наблюдается,

Попробую рассказать вам как можно проще, что совершается в нервном волокне. Мне еще не случалось рассказывать самых современных взглядов на этот процесс перед такой сравнительно мало подготовленной аудиторией, как ваша, и потому я не уверен, выйдет ли у меня достаточно понятно.

Вы понимаете, что в настоящем своем ходе исследование не может начинаться всегда с простого, оно невольно связывается

с тем, что легче обнаружить или что чаще попадается. Поэтому результаты, добытые исследованием, приходится приводить в порядок и превращать в систему постепенно и с трудом. Тот взгляд на природу электрических явлений в нерве, который я хочу вам сообщить, выработался в результате долгой и кропотливой работы многих ученых и представляет собою обобщение многих тысяч опытов.

Выяснено, что если в какой-нибудь точке нервного волокна скапливается несколько больше положительных ионов, нежели в соседних точках, то состояние этой точки каким-то образом изменяется. Прежде всего понятно, что эта точка поведет себя тотчас же, как положительный полюс, будет притягивать к себе отрицательные ионы (анионы) и отталкивать положительные ионы (катионы). Значит поблизости от этой точки с обеих сторон потечет электрический ток.

Теперь постарайтесь вообразить себе получающееся положение вещей. Если справитесь с этим, вам будет все ясно. Назовем нашу положительную точку мгновенным полюсом. Она начала расталкивать в стороны положительные ионы —это потому, что положительные частицы отталкиваются от положительных. Но сам-то наш мгновенный полюс положителен только потому, что в нем есть маленький избыток положительных частиц. Очень быстро он разгонит их в стороны и сам останется ни с чем, т.-е. перестанет быть мгновенным полюсом. Значит, положение в нерве таково, что всякое нарушение в расположении его ионов, т.-е. всякое появление электрического поля, тотчас же уравновешивается маленькой перегруппировкой ионов, запас которых в нерве всегда имеется. Уравновешивание происходит, как вы сейчас видели, за счет основного свойства одноименных электрических зарядов—отталкиваться друг от друга.

Что произойдет с положительными ионами, оттолкнувшимися от мгновенного полюса? Очевидно, вот что. По соседству с полюсом этих ионов (катионов) было как раз достаточно для равновесия, а теперь явились уплотнители: ясно, что сейчас же и здесь начнется отталкивание, и катионы начнут разбегаться в стороны от этой новой точки. Тем же порядком процесс побежит и дальше, наподобие волны, пока не передастся вдоль всего нерва. Итак, электрический процесс в нерве—это волна колебания катионов около их средних положений, которая пробегает вдоль всего нервного волокна. Ученым удалось даже из-

мерить скорость пробегания такой волны. Эта скорость оказалась не слишком велика:—около 30 метров в секунду, т.-е. около 100 километров в час. Это скорость хорошего поезда на полном ходу.

Вот какова природа того сигнала, которым нервная система пользуется для связи с окружающими частями. Не знаю, стоит ли останавливаться на тех физиологических выводах, которые вытекают из рассказанного; те из вас, кто ближе интересуются этим, смогут с большою легкостью вывести из этого взгляда все многочисленные законы деятельности нерва, которые до сих пор установлены наукой, и даже предсказать некоторые новые законы. Так, например, из этой теории следует, что нервное волокно в состоянии возбуждения не одинаково проводит электрический ток по обоим направлениям, т.-е. может действовать, как выпрямитель тока, или детектор. Кое-что в этом направлении было открыто недавно русским ученым Вериго, но у нас нет времени останавливаться на этих интересных вопросах.

Волна, пробегающая по нерву, носит название нервного возбуждения. Посмотрим теперь, как оно действует на мышцу.

Уже во второй лекции я говорил о том, как происходит возбуждение мышцы; теперь прибавлю, что мышца возбуждается каждый раз, как до нее доходит по нерву волна нервного возбуждения. Что мышца под влиянием возбуждения сокращается и производит работу, это вы помните. Мышца в здоровых условиях никогда не возбуждается самопроизвольно; она лишена права предпринимать что-нибудь сама по себе. Все мышечные сокращения совершаются послушно по команде высшей власти—центральной нервной системы.

К каждой мышце, к каждому волоконцу тянется от спинного мозга сплошной провод, называемый двигательным нервом. Поскольку спинной мозг может со своего места управлять и распоряжаться движениями всех мышц тела, постольку можно представлять себе те концы нервов, которые сосредоточены в спинном мозгу, чем-то вроде клавиатуры, системы кнопок, на которые нужно нажимать, чтобы производить движения мышц. Мы скоро увидим, что спинной мозг один не справляется с такой сложной задачей, и что основную роль в дирижировании оркестром мышц берет на себя головной мозг.

Мы с вами все время, пока говорили о нервном волокне, могли рассуждать, как физики. К сожалению, скоро нам при-

дется сойти с этой уверенной и точной позиции. Сейчас увидите - почему.

Каждое нервное волокно двигательного нерва начинается в спинном мозгу наконечником—нервной клеткой. Нервная клетка основательнейшим образом связана со своим волокном и очень значительно влияет на его образ действий. Прежде всего от целости клетки зависит самое существование волокна. Если нервное волокно перерезать, то происходят две вещи: отрезанная от клетки часть быстро отмирает, а часть, оставшаяся в связи с клеткой, начинает расти, проникать в изоляционную оболочку отрезанной и умершей части и часто дорастает снова до прежнего конца нерва, т.-е. восстанавливает его работоспособность. На этом, между прочим, основан способ сшивания нервов после их поранения; пока целы клетки, нерв может срастись именно тем порядком, какой я сейчас рассказал.

Вторая особенность волокна, стоящего в связи с клеткой, такова. Само по себе нервное волокно может проводить возбуждение по любому направлению. Клетка пропускает через нерв возбуждения только в одном определенном направлении. Совокупность клетки и ее волокна называется невроном; так вот, благодаря присутствию клетки невроны разделяются на две категории: одни проводят возбуждение только от спинного мозга на периферию, другие только наоборот—от наружных частей тела к спинному мозгу. Невроны первого типа называются двигательными, а возбуждения, идущие по ним—центробежными. Невроны второго типа суть чувствительные, а их возбуждения—центростремительные.

Третья особенность неврона по сравнению с отдельным волокном заключается в том, что волокно само по себе есть такой же вполне безличный проводник возбуждения, как проволока—проводник тока. В противоположность этому неврон есть самостоятельный источник возбуждения. Это есть готовая рабочая единица (если хотите, проволока вместе с батареей). Вся нервная система состоит из таких мельчайших самостоятельных единиц; думаю, что лишним будет и указывать вам, как малы нервные клетки, и какое громадное количество невронов составляют нашу нервную систему. В ней многие миллиарды самостоятельных невронов.

Мы установили простейшую форму нервного аппарата, теперь попробуем установить такую же простейшую форму нервного

механизма. Оказывается, невроны и работают очень однообразным способом, и основной тип их деятельности нетрудно установить. Пока попомним, что возбуждение двигательного неврона приводит в действие определенную мышцу; возбуждение чувствительного неврона появляется тогда, когда органы чувств (зрение, слух, а особенно осязание) воспринимают какое-нибудь внешнее впечатление и посылают о нем телеграфное донесение в центр.

Как только на какой-нибудь орган чувств подействовало внешнее впечатление—свет, звук, прикосновение и т. д., так сейчас же по нервному волокну в мозг устремляется соответствующий сигнал. Следом за этим сигналом с большой правильностью обыкновенно наступает ответный сигнал в двигательный нерв, который заканчивается ответным движением животного. Проще всего наблюдать такие ответные движения на низко организованном животном, например на лягушке. Для таких опытов лягушку обезглавливают. Делается это вот по какой причине. Я уже сказал вам, что нервные клетки всех невронов, связанных с наружными органами,—и чувствительных и двигательных—сосредоточены в спинном мозгу и около него. Головной мозг есть добавочная усложненная надстройка, которая сама по себе не стоит в прямой связи ни с одной частью тела. Поэтому, если мы хотим проследить в чистом виде работу спинно-мозговых невронов, мы должны отделить их от вмешательства головного мозга. Млекопитающие не выдерживают обезглавливания, но лягушка без головы живет еще некоторое время, и потому с ней работать удобнее всего. Большую часть головного мозга можно удалить без вреда для жизни и у птицы (например у голубя), но там это технически труднее и не получается так чисто.

Подвесим обезглавленную лягушку за верхний конец тела и затем ущипнем ее за заднюю ногу. Нога тотчас же отдернется. Тот же эффект получится, если к ноге поднести зажженную спичку, окунуть ногу в кислоту и т. д. В нашу задачу не входит описывать, что будет происходить во всех подобных случаях с лягушкой; мы лучше воспользуемся только что описанным простейшим примером, чтобы разобрать механизм, с помощью которого происходит отдергивание лягушечьей ноги.

Прежде всего это несомненно механизм, а не проявление воли или чего-нибудь в этом роде. Отдергивание наступает

с чисто машинной правильностью, а говорить о сознании или воле у обезглавленной лягушки было бы слишком смело.

Во-вторых, отдергивание происходит всякий раз в ответ на раздражение лягушечьей ноги тем или другим способом; это есть ответное, отраженное движение. Отражение по-латыни называется рефлексия, поэтому такие отраженные движения называют рефлексами. Так как явным образом в опыте с лягушкой головной мозг был исключен, то отдергивание ноги надо назвать спинно-мозговым рефлексом.

Есть и у человека такие же машинообразные совершенно непроизвольные спинно-мозговые рефлексы. Кто из вас не бывал на приеме у врача, который ударял молоточком по вашему колену под коленной чашкой, чтобы вызвать непроизвольное вскидывание ноги? Кто из вас не замечал, что зрачок глаза суживается сам собою, когда на него падает яркий свет, и расширяется в темноте? Это движение уже вполне непроизвольное, потому что мы сами не ощущаем его и не можем при всем желании добровольно повторить. Кто из нас может по произволу чихнуть, долгое время удерживать кашлевое движение? Если кто из слушателей имел дело с пьяницами, то он знает еще один вид рефлекса: от раздражения глотки пальцем или пером наступает рвотное движение. Всеми этими и очень многими другими рефлекторными движениями заведует вполне самостоятельно спинной мозг.

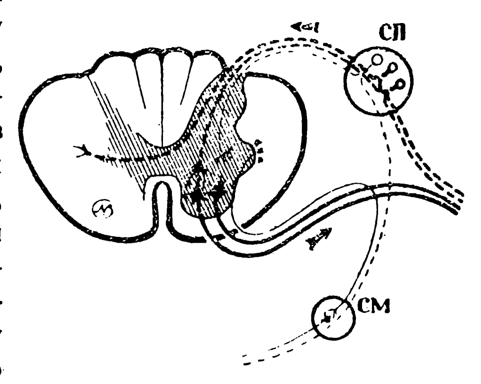


Рис. 50. Схема рефлекторной дуги. Налево—разрез спинного мозга, направо—нервные пути. Жирный пунктир — центростремительный (чувствительный) неврон, жирные сплошные линии—центробежный (двигательный) неврон.

Итак, при рефлексе возбуждение передается по своего рода дуге, которая так и называется рефлекторной дугой. В случае, например, зрачкового рефлекса оно начинается в глазу под действием света, передается по зрительному чувствительному нерву в верхний конец спинного мозга (продолговатый мозг), оттуда по двигательному нерву возвращается в глаз к маленькой коль-

цевой мышце, управляющей движениями зрачка, и вызывает с'еживание последнего. На рис. 50 изображена в виде схемы рефлекторная дуга простого спинно-мозгового рефлекса. Вы можете проследить ее на всем протяжении от органа чувств последовательно через два неврона к мышечному волокну.

Что же представляет собою спинной мозг, о деятельности которого мы сейчас говорили? Это есть жгут, который расположен внутри костного канала, образуемого кольцами позвонков. Он простирается по этому каналу от самого черепа до верхнего поясничного позвонка. Весь спинной мозг представляет собою

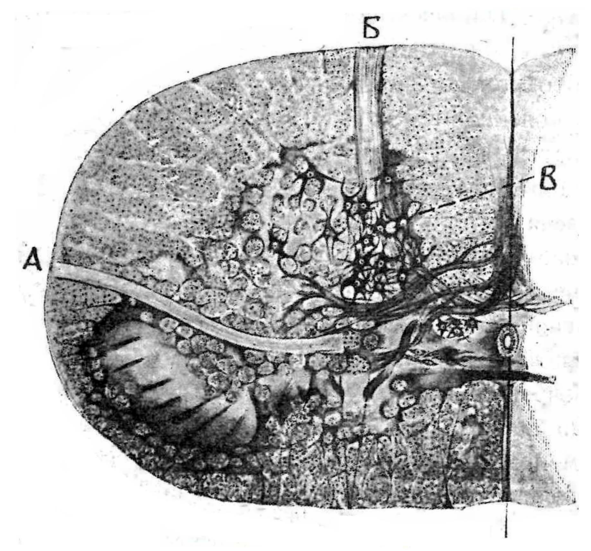


Рис. 51. Поперечный разрез половины спинного мозга, несколько схематизированный. А—выходящий пучок двигательных нервов, Б—входящий пучок чувствительных нервов, В—нервные клетки. (По Дейтерсу).

громадное сплошное скопление нервных клеток, принадлежащих по преимуществу к двигательным невронам. Если перерезать спинной мозг поперек (рис. 51), то на этом разрезе скопление нервных клеток будет выглядеть, как коричневое пятно, в форме бабочки посередине разреза. По краям окажется блестящее желтоватое вещество. Посмотревши такой разрез под микроскопом, вы убедитесь, что желтоватое вещество представляет собою массу изолированных нервных волокон, которые наш разрез

пересек в поперечном направлении. Разрез этих волокон необычайно напоминает по виду разрез телефонного кабеля.

Расскажу вам один интересный факт, об'ясняющий значение изолирующих оболочек нервных волокон. Эти оболочки состоят из жироподобного вещества, которое и придает нервному волокну белый блестящий вид. Это вещество, как и все вообще жиры, плохо проводит электричество; не даром проводники для токов в миллион вольт изолируют касторовым маслом. Теперь, вы знаете, что жиры растворяются в спирту, эфире, хлороформе, бензине и т. д. Действительно, чем вы будете выводить жирное пятно с одежды или скатерти? Очевидно, что теми же свойствами растворимости обладает и оболочка нервного волокна.

Что произойдет, если выпить большое количество спирта или эфира, которые через кровь тотчас же придут в соприкосновение с оболочками нервных волокон? Эти оболочки (несколько упрощая событие для ясности) начнут растворяться, и их изолирующие свойства ослабеют. Произойдет то же, что случается, когда портится изоляция любой сложной электрической проводки: выйдет путаница токов. Мышцы будут приходить в движение не там и не тогда, когда нужно, донесения от органов чувств будут перемешиваться и вызывать неподходящие рефлексы и т. д. Вы посмотрите и скажете: человек пьян.

Вернемся к спинному мозгу. Его коричневое вещество (называемое иногда еще серым веществом спинного мозга) есть скопление клеток, связанных главным образом с двигательными нервами. На рис. 51 видно, как эти двигательные нервы выходят из передних концов серого вещества и отправляются каждый к своей мышце. Чувствительные подходят к задней стороне спинного мозга, и их клетки находятся не внутри спинного мозга, а около него по сторонам.

Спинной мозг заведует рефлексами. Кроме простых рефлексов он больше ничем не заведует. Все более сложные движения и действия, которые требуют одновременного и упорядоченного участия многих мышц, превосходят способности и возможности спинного мозга. Он действует с точностью и однообразием автомата: за всем же тем, что выходит за пределы этого однообразия, он вынужден обращаться выше, призывая на помощь головной мозг.

Очень большая часть наших движений и действий составляется из простых рефлексов, гораздо бо́льшая часть, чем многие

из вас думают. Действительно, простые рефлексы не только непроизвольны (т.-е. не только двигательная половина их протекает вне сознания), но они и незаметны, так как чувствительная их часть тоже в сознание не попадает. Мы в большинстве случаев не обращаем на них внимания и не отдаем себе в них отчета. Между тем попробуйте вспомнить, как много мышц занято, например, при самой простой ходьбе. Мы потратили полторы лекции на перечень главнейших мышц человеческого тела, а ведь все эти мышцы так или иначе участвуют в акте ходьбы. Как бы вы растерялись, если бы вам пришлось сознательно управлять каждой из этих мышц в отдельности! Вероятно, вы не смогли бы сделать ни одного шага, а между тем вы не только совершенно не думаете о своих ногах, когда идете, но еще и можете в это время заниматься каким-либо совершенно посторонним делом: читать книжку или ухаживать за спутницей.

Попытаемся теперь систематизировать те отрасли управления действиями, которые выпадают на долю головного мозга. Обыкновенно принято для начала описывать внешний вид и строение головного мозга, а потом уже переходить к его деятельности. При таком способе изложения головной мозг оказывается чрезвычайно прихотливым и сложным, сбивает всех с толку, и в нем ничего нельзя понять. Поэтому я пойду по другому пути, конструктивно, и начну с того, что расследую, что собственно приходится делать головному мозгу, и как в нем постепенно, исторически, развивались необходимые для этого приспособления. Тем из вас, кому не терпится все-таки посмотреть внешний вид головного мозга, предлагаю для утешения рис. 52.

Очевидно, что центральная власть, как бы сложно она ни была организована, все равно неизбежно будет заключать в себе части, получающие сведения с периферии, и части, отдающие на периферию распоряжения. Следовательно, и в головном мозгу мы должны первым делом искать чувствительный и двигательный, аппарат.

Вы понимаете, какая бы дезорганизация получилась, если бы верховный орган (все равно, мозг, или правительство, или зав.) вздумал отдать распоряжение непосредственно на периферию через головы ближайших подчиненных. Это избегнуто в нервной системе тем, что ни одно нервное волокно из головного мозга не заходит дальше спинного мозга, и только этот последний

имеет прямые провода к мышцам и органам тела. Конституция человеческой машины чрезвычайно строга, и ни один проситель из любой части тела не имеет возможности непосредственно сноситься с верховной властью, вообще сноситься с кем бы то ни было иначе, как через свой спинно-мозговой губотдел. Белое вещество спинного мозга, которое мы обнаружили на его раз-

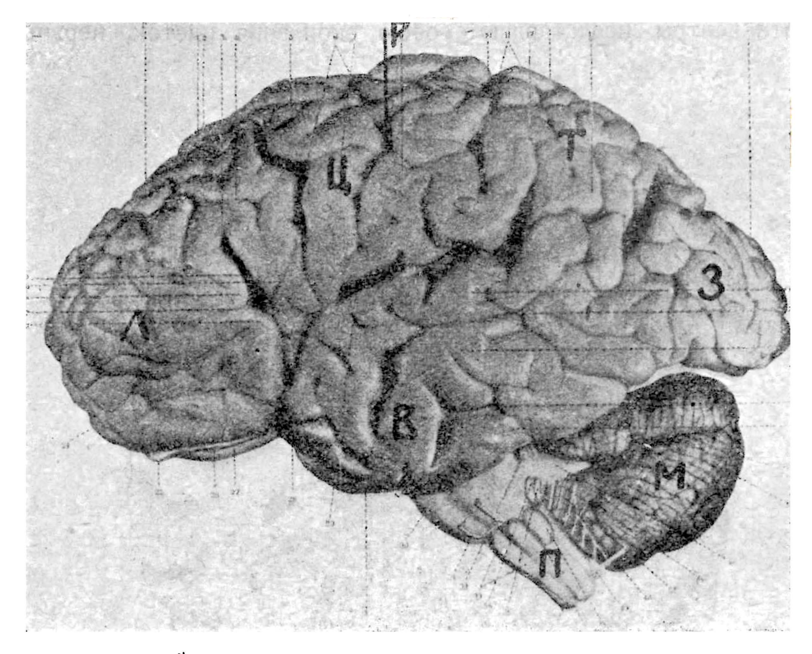


Рис. 52. Вид головного мозга человека с левой стороны.

Л— лобная доля левого полушария.
В—височная „
З—затылочная „
Т—темянная „
Ц—центральная „ (местонахождение центров движения).
Р—Роландова борозда.
М—мозжечек.
П—продолговатый мозг. (По Флатау).

резе, и есть система проводов от спинного мозга к головному и обратно. Вы помните, что чувствительные клетки находятся в связи с задними рогами серого вещества спинного мозга, а двигательные клетки лежат в его же передних рогах; поэтому,

очевидно, восходящие пути спинного мозга начинаются от задних рогов серого вещества, а нисходящие пути спускаются к передним рогам.

В головном мозгу человека находится справа и слева по одному главному центру чувствительному и двигательному. Так как уже было сказано, что нервная система состоит только из невронов, сооруженных по одному общему плану, то ясно, что и эти центры представляют собою скопления клеток, нервные

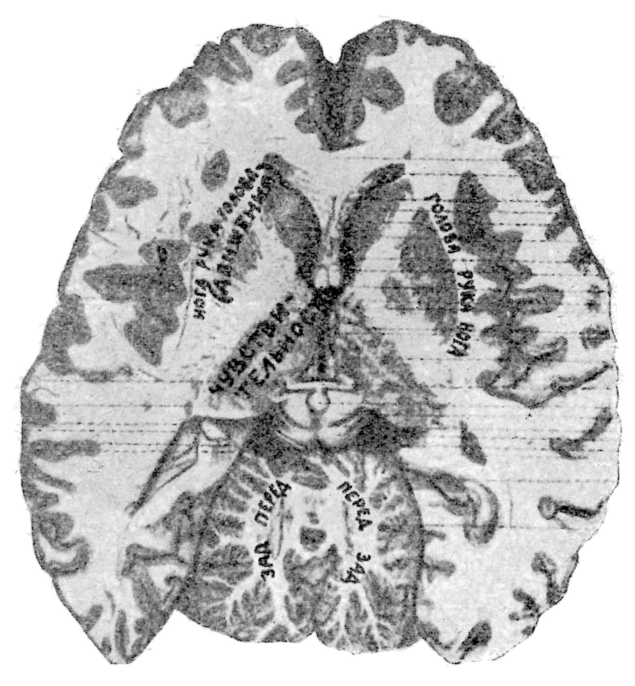


Рис. 53. Срез головного мозга спереди- сверху назад—вниз (в направлении околыша картуза). Наверху—двигательные центры, посередине—чувствительные, внизу—согласующие центры старого мозга. (По Флатау).

хвосты которых спускаются и поднимаются по белому веществу спинного мозга. Те из слушателей, которые все это время разглядывали внешний вид головного мозга, могут разочароваться: ни тех, ни других центров снаружи не видно, они лежат очень глубоко в толще мозга и их увидать можно только разрезав мозг. Для лиц, которые ближе интересуются анатомией мозга, скажу, что главные двигательные центры головного мозга называются «бледными телами», а главные чувствительные цен-

тры—«зрительными буграми». И те и другие видны в разрезе на рисунке 53. Добавлю еще, что каждый из этих центров, как правый, так и левый, стоит в связи с обеими сторонами спинного мозга, и правой и левой. Около каждого из них группируются еще мелкие центры сходного назначения, носящие каждый свои особые названия, но мы не будем останавливаться на них и для рассмотрения об‘единим их мысленно с главными центрами.

Теперь подумайте, что бы было, если бы эти об‘единяющие центры действовали совершенно независимо друг от друга, не сверяясь взаимно и не согласуя своих отправлений друг с другом? Очевидно, что там, где дело восходит от простого машинообразного рефлекса к взаимодействию сотен мышц, необходим самостоятельный и немалый центр, предназначенный специально для согласования (как говорят, для координации) отдельных нервных отправлений друг с другом. Такой центр должен, конечно, стоять в связи как с двигательными, так и с чувствительными центрами спинного мозга, чтобы иметь возможность совершенно независимо регулировать их действия. Такой центр в самом деле имеется в головном мозгу человека. Этот главный согласующий или координационный центр головного мозга есть мозжечок.

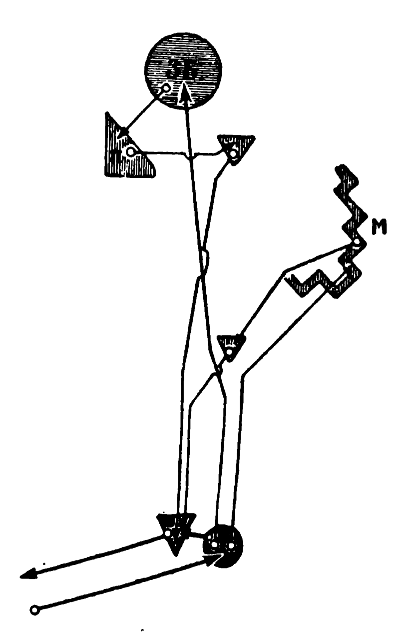


Рис. 54. Схема проводящих путей старого головного мозга. ЗБ—зрительный бугор, П—бледное тело, М—мозжечок. Треугольники—промежуточные ядра. Черные треугольник и круг внизу изображают центры спинного мозга с выходящими из них наружу нервами—центростремительным и центробежным.

Итак, пока ничего сложного и страшного. Мы установили, что связь головного мозга со спинным удобно укладывается в четыре нервные проводки. Это суть: двигательная проводка от двигательного центра вниз; чувствительная проводка—кверху к чувствительному центру, и пара проводок обоих направлений,

соединяющих спинной мозг и мозжечок. Все эти проводки в действительности и имеются в спинном мозгу; они удобно изображены в виде схемы на рис. 54.

Как раз в таком виде существует головной мозг у просто устроенных низших позвоночных, например у лягушки. Он состоит из двух пар бугров, за которыми следует одно непарное утолщение. Передние два бугра суть двигательные центры, следующие два—чувствительные центры, наконец, последнее утолщение—согласующий центр или лягушечий мозжечок. У человека, как уже сказано, эти центры, кроме только мозжечка, скрыты глубоко под новыми для нас обширными мозговыми образованиями, о которых речь пойдет дальше.

Вот как усложняется в кратких словах рефлекторная схема после включения в нее головного мозга. Вместо простой рефлекторной дуги, всего из двух звеньев, у нас получается более сложная, состоящая по крайней мере из четырех звеньев—двух центростремительных и двух центробежных.

Общее правило работы сложной рефлекторной дуги, повидимому, таково. Все те положения, с которыми спинной мозг в состоянии справиться сам, он и разрешает самостоятельно, но, как мы видели, эти положения немногочисленны. Они составляют, если хотите, тот фон, на котором совершаются все организованные движения и который создает возможность для таких движений. Все остатки от тех возбуждений, которые, поступив в спинной мозг, отчасти уходят обратно по короткой дуге, направляются в центры головного мозга, и уже с их помощью возникают ответные движения более или менее сложного типа.

Существуют еще до сих пор разногласия по вопросу о том, как действуют невроны головного мозга на невроны спинного. Всего вероятнее, что настоящие двигательные побуждения исходят именно из спинного мозга, а головной мозг либо умеряет, затормаживает эти побуждения, либо наоборот, перестает тормозить их и обеспечивает им этим возможность проявиться в полной силе. Замечено, что у обезглавленной лягушки рефлексы всегда проявляются энергичнее, нежели у здоровой, где тормозящее участие головного мозга не исключено. Вы можете и из вашего повседневного опыта убедиться, что головному мозгу (и связанному с ним сознанию) легче затормозить какой-нибудь рефлекс, чем произвольно вызвать его. Каждый знает, что можно

некоторое время усилием воли удержаться от чихания, икоты и т. д., но искусственно икнуть или чихнуть никому не удастся. (Чихание актеров—всегда подделка, только похожая по звуку и гримасе). Существуют заболевания, при которых двигательная связь головного мозга со спинным нарушается, вследствие чего получаются параличи. При параличе такого типа, когда связь со спинным мозгом у мышцы сохранена, т.-е. спинно-мозговые рефлексы не нарушены, всегда мышцы пребывают в напряженном, натянутом состоянии, и простые рефлексы бывают даже усилены. Если перерезан нерв, ведущий к мышце, так что мышца теряет связь со спинным мозгом, то она делается дряблой, и простые рефлексы исчезают совсем.

Как происходит передача возбуждения от неврона к неврону, до сих пор точно не установлено. Некоторые считают, что тончайшие волоконца, из которых состоит стержень нервного волокна, тянутся без перерыва от одного неврона к другому сквозь нервную клетку, так что рефлекторная дуга есть непрерывный путь от органа чувств до самой мышцы. Слишком много, однако, особенностей у нервной клетки, чтобы можно было безоговорочно согласиться с таким мнением. Мы уже видели, что нервная клетка пропускает возбуждение только по одному направлению. Дальше оказывается, что толчок возбуждения, даваемый нервной клеткой, может очень сильно отличаться от того, который пришел в эту клетку по волокну другого неврона. Оно может оказаться сильнее или слабее, может оказаться прерывистым и т. д. По всему выходит, что возбуждение, поступающее в нервную клетку из другого неврона, не передается ею дальше чисто механически, а служит только сигналом, вызовом, который приводит в действие соответственные силы клетки и заставляет ее разразиться собственным толчком возбуждения. Кроме того, одни только спинно-мозговые, простые рефлексы отличаются той машинной правильностью, которая позволяет предположить на всем протяжении рефлекторной дуги стойкую связь. Рефлексы головного мозга отличаются своим разнообразием и приспособляемостью. Мы увидим дальше, что многие явления деятельности головного мозга можно об'яснить только, если допустить, что в нем существуют переключатели, и что его устройство допускает в р е м е н н ы е с в я з и между отдельными невронами. Как выглядят эти временные связи, мы еще совершенно не знаем. Происходит ли здесь соприкосновение между отростками невронов,

или возбуждение передается от одного к другому как-либо иначе—решение этого вопроса есть дело науки будущего.

Я пока ничего не говорю вам о природе тех центростремительных сигналов, которые поступают в мозг из органов чувств и вызывают ответные двигательные рефлексы. Вообще говоря, все хорошо известные вам органы чувств принимают участие в работе рефлексов: и то, что мы видим, и то, что мы слышим и осязаем и т. д., может послужить, да и служит постоянно, побудителями рефлекторных движений. Есть, однако, одна чувствительная система, о которой в обиходной жизни знают совсем мало; а между тем как раз эта система имеет наибольшее влияние на движения человека. Те органы чувств, которые входят в состав этой системы, называются в физиологии проприоцептивными органами; нам удобнее будет их называть по-русски, хоть длиннее, но понятнее,—органами мышечно-суставного и пространственного чувства.

Эти органы разбросаны по всему телу. Больше всего их в сухожилиях мышц и на поверхности сочленений. Попадаются они и в самых мышцах. Это мельчайшие нервные окончания, видимые только под микроскопом.

На долю органов пространственного чувства выпадает немаловажная задача—сообщать в мозг о тех движениях и положениях, которые принимает каждая часть человеческого тела. Каждый из вас может с закрытыми глазами (т.-е. не проверяя себя зрением) сделать довольно точно любое движение, подписать свою фамилию, определить форму предмета, который дан вам в руки, и т. д. Всё это возможно за счет рассеянной повсюду армии органов пространственного чувства. Эти органы имеют в спинном мозгу свой собственный нервный кабель, который направляется к зрительному бугру. Существует болезнь, называемая спинной сухоткой, при которой как раз этот нервный путь разрушается; и сейчас же вслед за его разрушением наступает очень тяжелое расстройство движений. Такое расстройство всегда одного и того же порядка: ни сила, ни быстрота движений при этом заболевании не страдают, но совершенно нарушается управление движениями, способность соразмерять их. Тогда человек теряет устойчивость, у него нарушается походка, шаги делаются непомерно большими, движения рук—порывистыми и неуверенными. Вот по этим нарушениям вы и можете судить о том, что делают органы пространственного чувства у здорового человека.

В вашем инструкторском обиходе очень употребительно выражение «мышечная память». Я пользуюсь случаем, чтобы указать вам на одно недоразумение, связанное с этим словом. Часто говорят о зрительной или слуховой памяти, подразумевая под этим память, связанную с тем или другим органом чувств. В этом же смысле можно говорить и о мышечной памяти, как о памяти, связанной с деятельностью мышечно-суставного чувства. Вам могут предложить ощупать с закрытыми глазами какую-нибудь палочку и затем не открывая глаз отметить ощупанную длину на другой палочке. Память, которую вы обнаружите при этом, будет, конечно, памятью мышечно-суставного чувства, или мышечной памятью. Совсем другое подразумевают под этим же словом, когда говорят, что то или другое рабочее движение, например опиловка, усваивается учеником при посредстве мышечной памяти. Механизм, с помощью которого происходит усвоение трудовых навыков, гораздо сложнее и всегда основан на работе всего мозга в целом. Это уже не мышечная память, а общая способность к усвоению, и ее средоточие лежит совсем не в органах мышечного чувства и не в их центрах, а в центрах общедвигательных и согласующих.

В системе суставно-мышечной и пространственной чувствительности есть один аппарат, который устроен особенно тонко и сложно и который служит как бы главной проверочной обсерваторией для пространственного чувства. Этот аппарат помещен в черепе, в ближайшем соседстве с органом слуха с каждой стороны и представляет собою две системы тонких трубочек, идущих в разнообразных направлениях и наполненных жидкостью. Эта система трубочек действует в своем роде как ватерпас, только вместо пузырька воздуха отметчиком в нем служит изменение давления жидкости на стенки трубок. Этот аппарат есть главный орган равновесия. Над ним было проделано множество интересных опытов как с животными, так и с человеком, но, к сожалению, у нас слишком мало времени, чтобы упоминать о них.

Мы еще не закончили обзор строения головного мозга. Я говорил вам, что в той форме, какая была описана до сих пор, головной мозг обнаруживает полную работоспособность, и применяется к жизни у некоторых низших позвоночных, каковы, например, земноводные. У человека он осложнен еще одним дополнительным этажом, который имеется в готовой

форме только у млекопитающих и осложняет собой рассказанную до сих пор систему мозга.

Мы установили, что мозг птиц и земноводных состоит из самостоятельных центров: двигательного, чувствительного и согласующего, при чем каждый из центров имеет собственную связь со спинным мозгом. Новое образование, к описанию которого я перехожу сейчас, у человека разрослось до такой степени, что совершенно закрыло собою и заростило все описанные до сих пор части мозга. Все, что вы видите на рис. 52, относится исключительно к этому новому мозгу, который известен под названием полушарий мозга. О них я сегодня не успею сказать ничего; поэтому рассмотрение их откладываю до следующей лекции.

Лекция 8-я

Товарищи! В прошлой лекции мы не успели закончить даже того краткого обзора нервной системы, какой я намеревался сделать. Даже то немногое, что вам для вашей практики нужно было бы знать, уложилось бы свободно в целый курс, специально посвященный нервной системе. Так как такого курса мы вам дать не в состоянии, то приходится мириться с тем, что сведения о мозге и его работе, какие вы здесь получите, будут очень отрывочны и неполны.

Я начал рассказывать вам о полушариях мозга, которые в сколько-нибудь явственной форме появились только у млекопитающих, но затем быстро развились, подчинили себе все остальные части мозга и приобрели у человека безусловно преобладающее значение.

Полушария мозга устроены не так, как те более старые центры, о которых говорилось в прошлый раз. В них нет отдельных ядер, отдельных скоплений нервных клеток. Все полушария мозга покрыты снаружи сплошным слоем нервных клеток в $^1/_2$ см. толщиною. Этот слой, облекающий весь головной мозг наподобие коры, так и называется корой полушарий мозга. На разрезе головного мозга кора полушарий выглядит, как шоколадно-коричневый слой, выстилающий все борозды и извилины поверхности мозга (рис. 53). Протяжение этого слоя очень велико: в нем одном в несколько раз больше нервных клеток, чем во всех остальных частях нервной системы, вместе взятых. Рис. 55 дает понятие о том, как выглядят под микроскопом и как располагаются в мозговой коре нервные клетки.

Кора полушарий настолько явственно преобладает у человека над всеми прочими частями мозга, что долгое время только

о ней одной знали что-нибудь определенное. Она была изучена раньше и подробнее всех других отделов мозга, и если я сейчас позволил себе отодвинуть ее на самое последнее место, то только благодаря новейшим исследованиям, позволившим установить естественный порядок развития и взаимного подчинения всех частей нервной системы. Поэтому же будет разумнее, если я и самую кору полушарий расскажу вам не в том порядке, в каком она изучалась, и не в том, в каком ее обычно описывают, а в наиболее удобном для той схемы, которой мы держались до сих пор.

Рис. 55. Кора мозговых полушарий под микроскопом. Черные пятнышки—нервные клетки. Справа—отдельные клетки при большем увеличении. (По Кэмпбеллю).

Кора полушарий так же, как и нижележащие подчиненные центры, сосредоточивает в себе двигательные и чувствительные отделы. Здесь, правда, они уже не лежат отдельно, а расположены рядом без резких границ и, может быть, даже заходят друг на друга. При этом обнаруживается интересная разница между устройством чувствительных и двигательных отделов коры.

Чувствительные отделы коры не связаны не только с органами чувств (как это было в чувствительных центрах старого мозга—зрительных буграх), но даже и со спинным мозгом. Они, если можно так выразиться, еще больше удалены от жизни, чем центры старого мозга. Все, что они имеют,—это провода от всех чувствительных отделов старого

мозга, т.-е. зрительных бугров и чувствительной части мозжечка. Эти отображения низших чувствительных центров занимают в коре полушарий очень большое, преобладающее место. Чувствительные отделы мозжечка отображаются по преимуществу в лобных долях коры, а зрительные бугры—почти во всей остальной ее части. Это изображено схематически на рисунке 56.

Еще нагляднее представлено то же отображение на рис 57. Там все центры чувствительности надписаны курсивом. Вы видите на этом рисунке центр зрения (в затылочной доле), центр слуха (в височной доле); что касается осязательного и болевого центра, то он расположился очень широко в центральной доле на заднем берегу глубокой борозды, называемой Роландовой бороздой. На рисунке нанесены названия частей тела, чувствительные центры которых лежат в соответствующем месте коры.

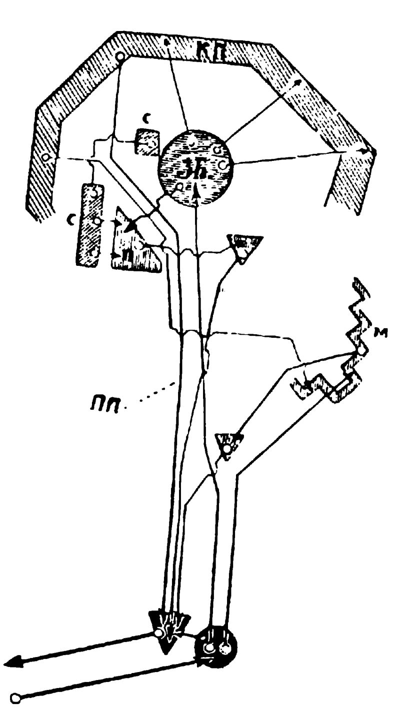


Рис. 56. Проводящие пути нового мозга. КП—кора полушарий, прочие обозначения—те-же, что и на рис. 54. ПП—пирамидный путь.

Что касается двигательного центра коры, то он повел себя совсем непослушно и проявил исключительное нежелание считаться и согласоваться с чем бы то ни было из состава старого мозга. Он никак не связан ни с главным двигательным центром старого мозга—бледным телом, ни с двигательными отделами мозжечка. Напротив, он проложил себе совершенно независимый особый путь прямо к спинному мозгу, который сносится таким образом непосредственно с двигательными спинномозговыми клетками. Этот путь тоже хорошо виден на рис. 56. Он называется пирамидный путь. На рисунке 57 двигательный центр коры изображен надписями, сделанными печатными буквами. Он лежит на переднем берегу уже упоминавшейся Ролан-

довой борозды и занимает довольно большое пространство. Вы можете видеть, что части этого центра, относящиеся к отдельным областям тела, лежат как раз бок о бок с соответствующими частями осязательно-болевого центра коры. Интересно, что центры верхних частей тела лежат в мозгу ниже всего (голова, язык), а центры ног расположены на самом верху.

У коры полушарий есть еще одно странное, до сих пор необ'ясненное свойство. Именно, все центры левой половины тела находятся в правом полушарии мозга, и наоборот. Все проводящие пути мозговой коры рано или поздно проделывают по до-

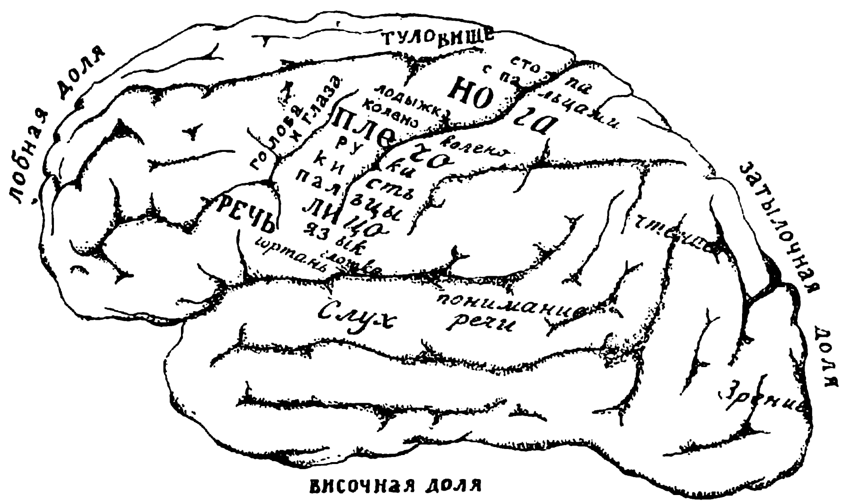


Рис. 57. *Чувствительные* и двигательные центры в коре полушарий мозга.

роге перекрест из одной стороны в другую. Таким образом центры, заведующие письмом и вообще деятельностью правой руки, находятся в левом полушарии мозга. По неясным еще причинам в левом же полушарии находятся и центры речи, так что левое полушарие во многих отношениях внутренно тоньше организовано, нежели правое. Если в левом полушарии произойдет разрушение мозгового вещества (за счет ранения, кровоизлияния и т. д.), то очень легко может нарушиться речь, понимание речи, способность письма, чтение и т. д. При поражении правого полушария и его нервных путей происходят обычно только параличи левой половины тела.

Пирамидный путь, т.-е. двигательный путь нового мозга, развился у животных позднее всех остальных мозговых частей.

У каждого ребенка этот путь развивается тоже позднее всех остальных. Почти все проводящие пути мозга заканчивают свое развитие уже к моменту рождения; между тем пирамидный путь бывает готов к действию только на пятом, шестом месяце жизни ребенка. Именно тогда, когда пирамидный путь дозревает, обогащаются двигательные способности ребенка. Открытие новых линий знаменуется тем, что ребенок начинает обучаться ходить и говорить.

В прежнее время не знали еще о деятельности центров старого мозга; их считали в лучшем случае промежуточными пунктами, зачем-то лежащими на путях мозговых полушарий. Еще меньше подозревали о том, как велико значение этих старых центров для движений и поведения человека.

Это значение не вполне очевидно и недостаточно изучено еще и сейчас. Между тем оно очень велико и нельзя не сказать о нем хотя бы и очень коротко.

Вы уже видели, что спинно-мозговые рефлексы составляют самый элементарный, самый общий фон человеческого движения. С другой стороны, хотя бы из рис. 57, вы можете вынести впечатление, что деятельность полушарий головного мозга отличается особенной гибкостью и многогранностью и дает движениям окончательную шлифовку. Опыты над корой полушарий показали, что в ней имеется чрезвычайно тонкое расчленение и приспособленность. У собаки легко можно обнажить двигательную область мозговой коры и раздражать разные ее точки электрическим током. Каждое такое раздражение влечет за собою движение какой-нибудь части тела или мышцы собаки (именно этим способом были получены первые «географии» двигательного центра собаки); и буквально каждая новая точка коры заведует особыми мышцами и движениями. Чего-либо, хотя бы отдаленно напоминающего такое тонкое расчленение, в двигательных центрах старого мозга нет.

Итак, задача мозговой коры состоит, очевидно, в заведывании наиболее точной и ответственной составной частью движений. Центры старого мозга дают движению грубый основной контур. Вы знакомы, конечно, с литейным делом; можно было бы сказать, что старый мозг дает отливку движений, а полушария обтачивают и отшлифовывают эту отливку до пределов требуемой точности.

Второе свойство коры, также проистекающее из ее расчлененности, есть чрезвычайное разнообразие и гибкость тех движений, которые она может вызывать. Именно поэтому способность речи и письма зависят от деятельности коры полушарий; от нее же зависит и еще более разнообразная и тонкая работа мышления. Наоборот, движения, зависящие от старого мозга, однообразны и монотонны; от старого мозга исходит, повидимому, и большинство ритмичных движений. Ходьба, плавание, лазание, пляска в значительной степени управляются деятельностью старого мозга. От него же в очень сильной степени зависят и многие однообразные ритмические трудовые движения. Старый мозг имеет в своем распоряжении небольшое число сложных, но туго поддающихся изменению и перевоспитанию двигательных формул. Наоборот, «библиотека» нового мозга, как мы видели, очень богата, легко пополняется и поддается обработке. Зато формулы, которыми обладает старый мозг, представляют собою чрезвычайно разносторонние всеоб'емлющие сочетания движений, обыкновенно хорошо пригнанные и согласованные. Старый мозг работает как автомат; недаром многие из тех движений, в которых он играет преобладающую роль, называют автоматическими движениями. То, что называют изяществом, пластичностью и т. д. в сильнейшей степени зависит от деятельности старого мозга; именно поэтому изяществу нелегко обучить, и оно почти всегда врожденно. Вам будет понятно, почему изящные, складные в крупных движениях люди вовсе не обязательно оказываются наиболее способными к усвоению трудовых навыков: ведь то и другое управляется совершенно разными отделами мозга.

На этом мы покончим наш более чем краткий обзор нервной системы. После перерыва я расскажу вам о том, как производилось и производится изучение движений человека, в котором заключается ведь основная цель биомеханики.

Цель биомеханики – изучение и исправление человеческих движений. Между тем так короток наш курс и так много нужно было рассказать предварительно, что к самому изучению движений мы можем подойти только под самый конец. Все, что излагалось до сих пор, были только предпосылки; это был минимальный необходимый запас сведений, без которого нельзя приступить к изучению движений. В сущности мы успели толь-

ко разобраться в устройстве человеческой машины; еще научно мы не наблюдали ее в ходу и пока не знаем, как это сделать. Сегодня я хочу рассказать вам, как и какими приемами подходит наука к исследованию движений.

Интерес к движениям появился очень давно,—еще тогда, когда единственным способом наблюдения было наблюдение простым глазом. Такой интерес раньше всего возник у художников, которые стремились как можно вернее изобразить движение на картине. С другой стороны, и те изобретатели, которые хотели добиться устройства летательной машины (а таких было много во все времена), старательно изучали полет птицы, надеясь извлечь из этого какие-нибудь указания. В XV веке жил человек, который был одновременно и великим художником и великим изобретателем. Его звали Леонардо-да-Винчи. В его тетрадях сохранилось много записей, рисунков и измерений, связанных с биомеханическими вопросами, и его по справедливости считают первым предком науки о движениях.

Однако еще очень долго после Леонардо-да-Винчи наука о движениях испытывала большое затруднение оттого, что не имела никакого точного метода для изучения движений. Наблюдения простым глазом слишком недостоверны, особенно когда дело касается быстрых и разнообразных движений. Зарисовки никогда не застрахованы от привнесения в них плода фантазии рисовальщика, которого притом невозможно уличить и проконтролировать. Поэтому вы поймете, какой громадный толчок для научной биомеханики произвело изобретение фотографии.

Фотография вообще научила человека видеть. Человеку постоянно свойственно быть самонадеянным, он воображает, что видит гораздо больше, чем он видит на самом деле. Фотография разоблачила этот гордый самообман. Я посоветую вам проделать когда-нибудь такой опыт: пойдите в картинную галлерею и обратите внимание на изображения какого-нибудь одного предмета, например лошади. Посмотрите, как рисовали лошадей до половины прошлого века и как их стали рисовать после. Вы увидите замечательную, чрезвычайно большую разницу. После 1850 г. (приблизительно) вы уже не увидите этих вечных коней на двух задних ногах, игриво перебирающих в воздухе передними ногами. Начинают постепенно (хотя еще очень медленно) исчезать и изображения лошадей на скаку с обеими передними ногами, вытянутыми вперед, а задними, вытянутыми назад. Да что

и говорить о быстрых, неуловимых движениях лошадей! Возьмите вы изображения спокойно растущего дерева, дома, горы и т. д. И вы увидите и тут разницу между тем, как рисовали их до изобретения фотографии, и как стали рисовать после. Вам ясно станет, как много условности было в старом рисунке. Нынешней осенью, в связи с юбилеем Академии Наук, в Москве было много выставок (самая большая в Международной Книге), где можно было видеть немало старинных гравюр с изображениями улиц и домов. Вот вы и посмотрите, рисует сейчас кто-нибудь так фальшиво или нет? Я не хочу утверждать, что но-

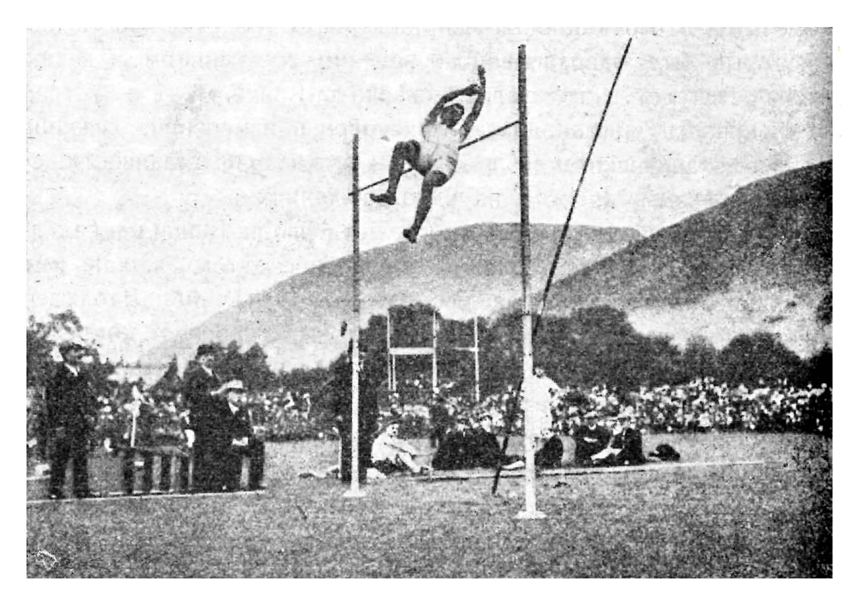


Рис. 58. Моментальный снимок прыжка с шестом. Кто из читателей глазом замечал такие положения тела? (По фото-каталогу Лоренца).

вые художники учились на фотографии, но факт остается, что с фотографией люди впервые поняли, как плохо они видят. И раз поняв, они уже сделали фотографию неот'емлемой частью всякого научного исследования.

Добавлю еще к сказанному, что мы не только плохо видим, т.-е видим мало, но еще видим зачастую то, чего нет, и не видим того, что есть. Вам всем случалось видеть моментальные фотографии быстрых движений (рис. 58). Разве вам не казалось никогда, что снятое положение совершенно неестественно и ни-

когда не бывает в жизни? Между тем, очевидно, фотография ошибаться не может; эта кажущаяся неестественность есть лучшее доказательство того, как мало можно в биомеханике полагаться на простой глаз.

Для чего я все это говорю вам? Дело в том, что вам в вашей учебной инструкторской практике постоянно придется иметь дело с наблюдением на-глаз, и вряд ли когда в вашем распоряжении будут более точные методы. Вот я и хочу хоть немного застраховать вас, сделать вам какую-то предохранительную прививку от того, чтобы вы не слишком переоценивали свою наблюдательную способность. Чтобы быть доказательным, расскажу вам один факт из моей собственной биомеханической практики в ЦИТ'е.

Был там один инструктор, который изобрел новый способ удара при рубке зубилом и уверял всех, что этот способ самый лучший. А так как по несчастью он имел касательство к обучению курсантов, то и их он поучал своему способу рубки. Способ же этот, как показали точные биомеханические исследования, оказался совсем не таким хорошим, а, наоборот, очень плохим.

Мало того, что этот способ был плох, он был еще и невыполним. Так как вопрос о пригодности этого способа обсуждался в ЦИТ'е очень остро, а инструктор был человек горячий, то, чтобы убедить его, я много раз фотографировал работу его самого. И вот, из всех этих фотографий оказалось с неопровержимой правильностью, что сам он при рубке делает совсем не те движения, какие ему казалось, что он делает. Доходило до того, что он готов был обвинять лабораторию в фальсификации фотографий, до того расходились его собственные двигательные намерения и мышечно-суставные впечатления с тем, что показывал бесстрастный снимок его же самого. Мы еще вернемся к разбору таких снимков в следующей лекции.

Так вот, не извольте возноситься и почаще фотографируйте то, чему будете обучать ваших курсантов.

Изобретение фотографии без малого сто лет тому назад все еще мало помогло делу изучения движения. Первые фотографические пластинки имели два недостатка: они не допускали моментальных снимков, требуя большой выдержки, и, кроме того, не выдерживали хранения, так что их нужно было готовить самому непосредственно перед с'емкой и вставлять в аппарат

еще мокрыми. Понятно, что при этих условиях можно было снимать не движения, а только искусственно застывшие позы. Не могу удержаться здесь еще от одного предостережения: когда захотите познакомиться с незнакомым для вас движением (особенно это относится к быстрым размашистым движениям), то не заставляйте показывающего останавливаться среди движения и показывать вам разные последовательные позы. Почти всегда позы эти будут совершенно иные, чем те, которые он принимает во время подлинного движения.

Только с появлением моментальной фотографии возникла возможность запечатлевать на ходу отдельные мгновения быстрых движений. И уже тогда, на заре моментальной фотографии, было проделано одно замечательное исследование движений, которое и посейчас еще может служить образцом.

Это исследование провел не ученый, а американский коннозаводчик Майбридж. Он был чисто практически заинтересован в улучшении конских пород и потому задался целью изучить аллюры лошади для того, чтобы иметь возможность сравнивать их

Очень громоздкой и сложной была его установка. Майбридж выстроил длинный сарай. Одна из его стен была снабжена открытым наружу прилавком, и на этом прилавке были выстроены в ряд десятка два одинаковых фотографических аппаратов. У каждого из них был моментальный затвор, от которого тянулась длинная нитка. На некотором расстоянии от сарая вдоль него был поставлен такой же длинный забор, так что между обоими образовывалась дорожка; и вот нитки всех затворов тянулись поперек дорожки к забору, где и были привязаны. Все аппараты заряжались фотографическими пластинками; после этого сажали на лошадь верхового и пускали его скакать вдоль забора мимо двух дюжин устремленных на него фотографических глаз. Лошадь грудью разрывала нитки одну за другой, и один за другим щелкали аппараты, мимо которых она в этот момент пробегала. Получалась серия снимков, воспроизводивших последовательные положения лошади при беге (рис. 59). Вся эта большая и неуклюжая установка была, однако, первой прародительницей современного кино.

Приблизительно в одно время с Майбриджем фотографическое исследование движений производил в Германии другой исследователь Аншютц. Этот впервые сделал много замечательных снимков движений животных и человека. Один из его снимков

приведен на рис. 60. Он изображает движение кошки, падающей вверх ногами и переворачивающейся в воздухе.

В конце прошлого века фотографическое изучение движений получило мощный толчок к развитию в связи с работами знаменитого французского ученого Марея. Трудно было бы представить себе человека более изобретательного и находчивого. Марей изучал в своей лаборатории движения всевозможных животных, походку человека, полет птиц и т. д. Для фотографи-

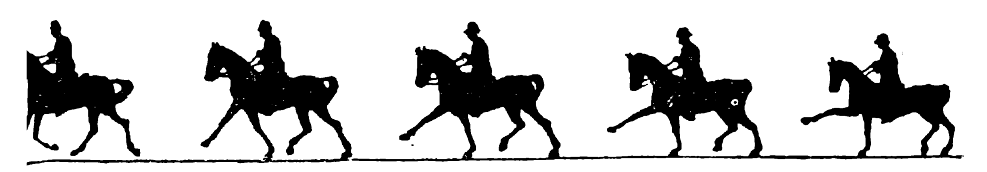


Рис. 59. Снимки бегущей лошади, сделанные Майбриджем.

ческих движений Марей часто пользовался изобретенным им ружьем. Это было очень странное ружье: на конце ствола у него находился фотографический об'ектив, а на месте магазина—барабан, в который вставлялась круглая светочувствительная пластинка. Марей прицеливался этим ружьем в бегущее животное или птицу, спускал курок, и тогда на быстро вертящемся барабане получалось десять последовательных снимков этого животного. Тому же Марею принадлежат два другие способа записи движений, которые до сих пор сохранили все свое значение.

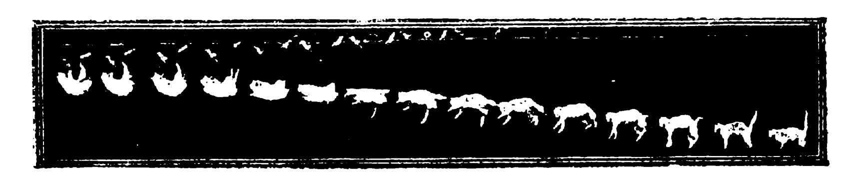


Рис. 60. Падение кошки, которую держали вверх ногами, и ее перевертывание налету. (Из снимков Аншютца).

Один из них заключается в том, что изучаемые движения передаются упругому барабанчику, соединенному резиновой трубкой с пишущим прибором. Самый пишущий прибор есть тоже барабанчик, с одной стороны металлический, а с другой затянутый тонкой резиновой перепонкой. Трубка соединяет внутренние полости обоих барабанчиков. Вследствие упругости воздуха нажим на перепонку первого барабанчика тотчас же

повлечет за собой выпячивание перепонки на втором барабанчике. И таким образом все движения, воспринятые первым, передадутся и на второй. С перепонкой второго барабанчика Марей соединял тонкую соломенную стрелочку с острием на конце, которая могла совершать качания при каждом движении резиновой перепонки барабанчика. Около острия ставился цилиндр, вращаемый заводным механизмом и обтянутый закопченной бумагой. Когда острие, прикасаясь к цилиндру, совершало движения вверх и вниз, то оно тем самым зачерчивало на закопченной бумаге след своего движения.

Сейчас трудно было бы и перечесть многочисленные случаи применения Мареевской воздушной передачи; ею пользуются и для записи сердечных сокращений, и мышечных сокращений, и голоса, и т. д.

Другое нововведение Марея имело целью улучшить фотографическую технику с'емки движений. Никто в такой мере не способствовал возникновению кинематографа, как именно Марей, но в его время кино еще только зарождался и не мог быть использован для научной работы. Поэтому приходилось искать обходных путей.

Марей задумался над вопросом: нужно ли, изучая движения человека, снимать его целиком? Не проще ли предположить, как предполагали и мы с вами в начале этого курса, что все звенья тела представляют собою простые прямолинейные рычаги без внутренней подвижности? А это предположение давало ему в руки хорошие методы.

Вы знаете, что черные предметы не действуют на фотографическую пластинку, а действуют только светлые. Марей одевал испытуемого в черный бархат, с перчатками и башлыком, и ставил его на фоне такой же черной стены. Единственными светлыми местами на всей одежде испытуемого были узкие серебряные галуны, нашитые на наружной поверхности его рук и ног. Если снять такого человека, то от всей фигуры на пластинке получатся изображения только нескольких светлых полос.

Этим и воспользовался Марей, только снимал он на одну и ту же пластинку не один раз, а несколько раз под-ряд. Перед об'ективом фотографического аппарата он помещал картонный круг, снабженный несколькими прорезами (рис. 61). Если такой круг привести в быстрое вращение, то он будет то открывать,

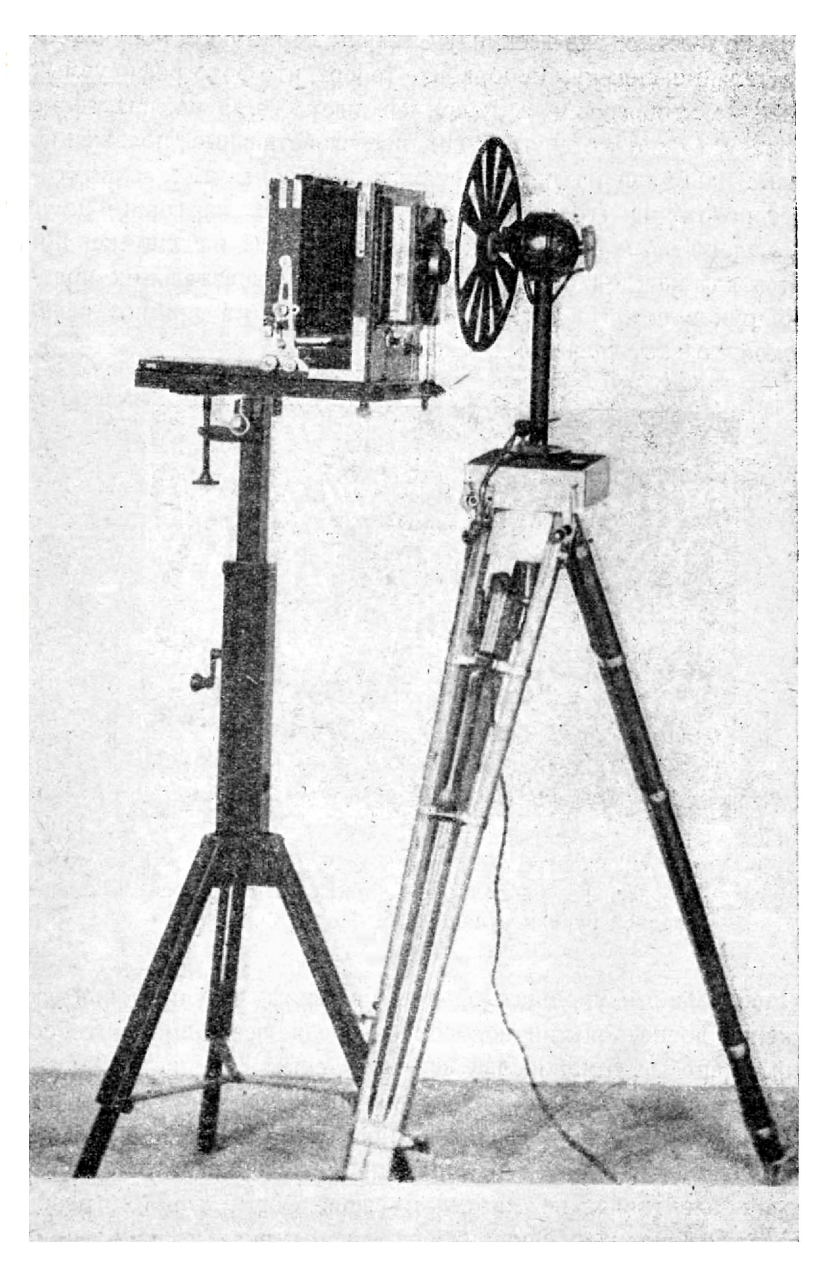


Рис. 61. Фотографический аппарат для цикло-с'емки и электрический моторчик с вертящимся затвором. (Установка автора в ЦИТ'е).

то снова заслонять об'ектив с большой скоростью, если нужно, несколько десятков раз в секунду. Столько же раз будут получаться моментальные снимки. Вообразите теперь, что фотографируемый человек не неподвижен, а, например, идет. Тогда на пластинке изобразятся одно за другим все последовательные положения, которые занимали на нем все нашитые галуны, т.-е. схематические положения его конечностей. Пусть наш картонный круг открывал об'ектив десять раз в секунду, тогда на снимке получится для каждой секунды по десять последовательных положений рук и ног. На рис. 62 изображен один из снимков человеческой ходьбы, сделанных Мареем.

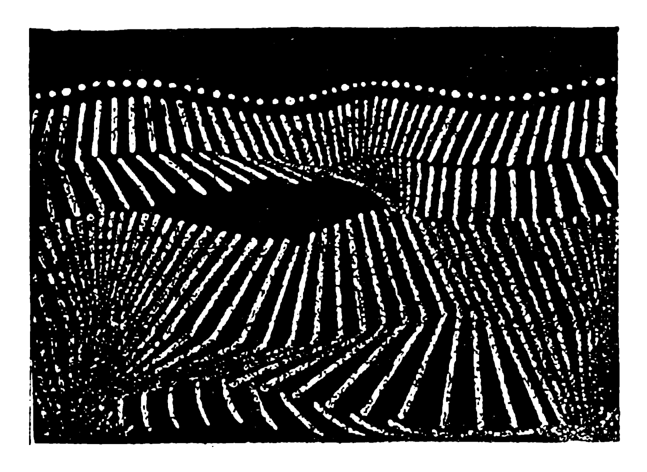


Рис. 62. Циклограмма ходьбы Марея. Испытуемый идет слева на право. Заснято движение головы, правой руки и правой ноги. (По О. Фишеру).

Способ Марея упрощать формы предмета для изучения его движений до нескольких полосок возбудил всеобщий интерес. Очень скоро в Германии два видных ученых, Брауне и Фишер, применили подобный же прием для точнейшего изучения походки, которому они посвятили много лет работы и шесть томов сочинений. Брауне и Фишер применили вместо блестящих полосок электрические лампы, имевшие форму тонких трубок и дававшие на пластинке изображения в виде тонких линий и точек. Наряд испытуемого при их методике был чрезвычайно тяжел и неуклюж; сделанный этими учеными снимок ходьбы можно увидеть на рис. 63.

Таким образом уже 30 лет тому назад наметилось два пути фотографического изучения движений. Первый путь состоял в том, чтобы получать как можно больше отдельных моментальных снимков всего движущегося предмета. По этому способу работали Майбридж, Аншютц, его же использовал Марей в своем ружье, и из него возник современный кинематограф. Другой способ сводился к тому, что от того предмета, движения которого надо было изучить, оставлялись видимыми только «рожки да ножки», т.-е. несколько линий и точек, и затем последовательные положения этой упрощенной схемы заснима-

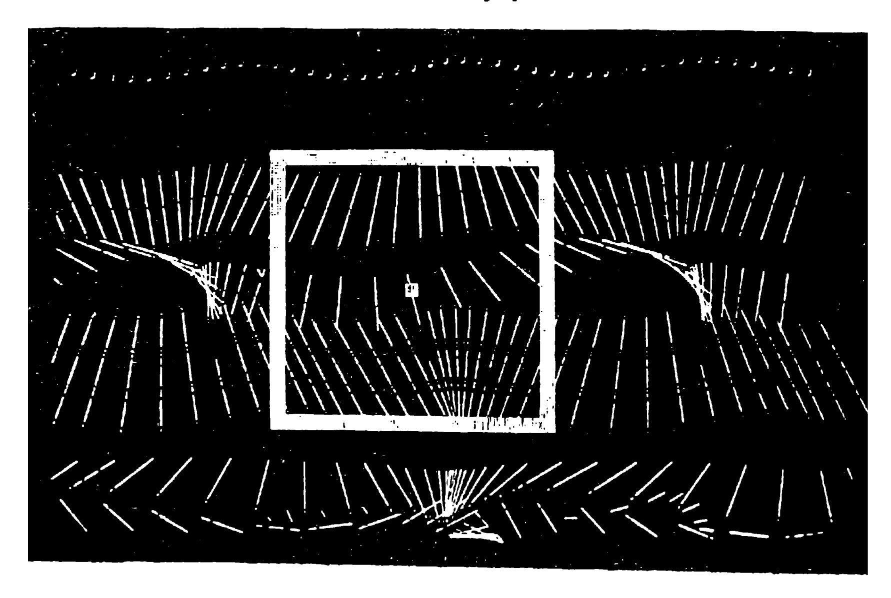


Рис. 63. Циклограмма ходьбы Брауне и Фишера. Испытуемый идет слева на право. Верхняя точка—темя, далее сверху вниз полосками: плечо, предплечье, бедро, голень и стопа; квадрат посередине снимка—масштаб. (По О. Фишеру).

лись много раз под-ряд на одно и тоже место. Из этого способа, введенного, как мы видели, Мареем, развился современный метод циклограмм, о котором будем говорить уже в следующей лекции.

Теперь попробуем разобрать, какие достоинства и какие недостатки имеет тот и другой способ. Кстати, попутно с этим я расскажу вам о самых новых усовершенствованиях того и другого метода.

Метод кино имеет на своей стороне все преимущества наглядности. На отдельных кино-снимках вы имеете точные и подробные изображения предмета так, как он выглядел в действительности. Пропуская кинематографический снимок через аппарат для демонстраций, вы можете снова и снова увидеть на экране то быстрое движение, которое было раз запечатлено этим снимком.

Но этою наглядностью все преимущества кино в деле изучения движений в сущности и исчерпываются. А для научной работы наглядность вовсе не составляет первостепенного преимущества. Научное исследование в гораздо большей мере преследует цели измеримости и точности, а в этом отношении кино, как сейчас увидим, далеко уступает циклографическому методу.

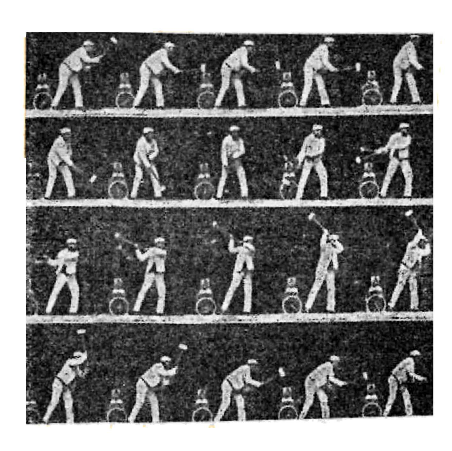


Рис. 64. Кино серия размашного удара молотобойца. Верхняя строка— удар и отдача, вторая и третья— замашное движение, нижняя строка— ударное движение. (По Фремону).

Прежде всего так ли уж наглядно кино, как это кажется? Взгляните на рис. 64, где изображена серия кино-снимков, изображающих удар молотобойца. Попробуйте сказать по этому рисунку, какой путь проделывает в воздухе наконечник кувалды. Как видите, это не так легко, тем более не легко произвести здесь точное измерение. На рис. 65 изображено то же самое движение, но уже снятое циклографическим способом на одну пластинку, и даже, как вы видите, без всяких нашивок или лампочек, с помощью одного только вертящегося затвора. Не правда ли, на этом снимке путь инструмента не вызывает никаких сомнений и может быть очень легко и точно измерен? Дальше вы увидите, что и во многих других отношениях цикло-снимки оказываются нагляднее, нежели кино-снимки.

Второе преимущество циклографии перед кино заключается как раз в том, что на циклограмме меньше точек и подробностей, чем на кино-снимке. Если мы хотим измерять движения, то нам нужно совершенно точно знать, движение какой точки

мы измеряем. Поэтому здесь все подробности излишни и только затемняют суть дела; лучше точно уследить движение трех-четырех точек, чем растеряться в движении нескольких десятков.

Третий недостаток кино вот в чем. Кино-с'емочный аппарат дает 16 снимков в секунду; быстрее этого снимать затруднительно по целому ряду технических соображений. Между тем, особенно для быстрых движений, этого чересчур мало. На многих кино-снимках удара, какие мне приходилось делать, прикосновение молотка к ударяемому предмету, т.-е. в сущности самый важный момент всего удара, вовсе не попадает на пластинку. С помощью циклографического метода количество снимков очень легко может быть увеличено до 100 и более в секунду, и при такой быстроте уже наверное все важнейшие подробности попадут на снимок.

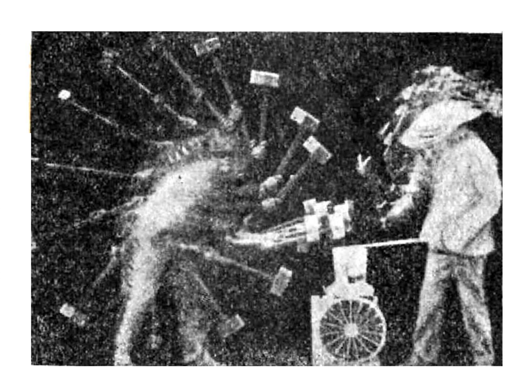


Рис. 65. Тот же размашной удар, что и на предыдущем рисунке, но уже снятый на одной пластинке, с применением вертящегося затвора. Путь движения кувалды виден особенно отчетливо (по Фремону).

Примерно в начале войны за границей появилась новая система кино, которая позволила производить в секунду не 16 снимков, как раньше, а значительно больше— до 400 снимков в секунду. Фотографические камеры такого рода получили очень картинное наименование «лупы времени». И действительно, такие камеры позволяют как бы рассматривать время через увеличительное стекло. Представьте себе, что мы сняли какое-нибудь движение со скоростью 400 снимков в секунду, а потом взяли ту же самую пленку, с содержащимся на ней снимком, и пропустили ее через обыкновенный демонстрационный кино-аппарат, успевающий пропустить всего 16 изображений в секунду. Он успеет, следовательно, показать вам те 400 снимков, которые были сделаны за одну секунду, только в течение целых 25 секунд, т.-е. изобразить движение в 25 раз более замедленным, чем оно было на самом деле. На таком кино-снимке все кажется презанятно замедленным: подпрыгнувшая лошадь

плавно и долго плывет по воздуху, и все вообще быстрые и мелкие движения выступают с необыкновенной отчетливостью.

Этот прекрасный аппарат имел бы бесконечно много преимуществ перед всяким другим методом, если бы на-ряду с достоинствами не увеличивались и недостатки. Надо помнить, что кино-лента сравнительно дорога, а лупа времени пожирает ее рубля на четыре в секунду. Между тем обыкновенная циклос'емка требует за то же время затрат всего на несколько копеек. Затем лупа времени представляет собою очень большой и сложный прибор, стоит весьма дорого, требует сильнейшего искусственного освещения, которое делает невозможным применение ее в обычной рабочей обстановке. Наконец снимок, полученный при посредстве лупы времени, есть в конце концов обыкновенный кино-снимок и представляется таким же неудобным для измерения и обработки, как и всякий кино-снимок. Может быть, именно поэтому с лупой времени до сих пор не произведено ни одной серьезной научной работы.

Теперь я расскажу вам в кратких словах, как производятся циклографические снимки в современной лаборатории. Мне необходимо дать вам понятие об этом для того, чтобы вы могли легче разобраться в тех циклограммах, которые я буду показывать вам в следующей лекции. Метод циклограмм был разработан для научных целей доктором Кекчеевым и мною; потому я изложу вам те способы работы, которые постоянно применяю сам.

Мы не пользуемся ни нашивками, ни хрупкими трубчатыми лампами. Мы берем для с'емки те самые маленькие электрические лампочки, которые применяются в карманных фонариках. Рассуждаем мы при этом так.

Уж если сокращать изображение, так сокращать. Марею и Фишеру были не нужны целые органы, потому что их движения достаточно определялись движениями их продольных осей; но ведь движения всякой прямой линии так же точно определяются движениями двух точек, расположенных в ее концах. Поэтому нам вовсе не нужно снимать целую полоску, мы ограничиваемся с'емкой одних только ее концов. Представьте себе, что мы знаем во всех подробностях движения центров локтевого и плечевого сочленений; этого нам вполне достаточно, чтобы сейчас же установить по ним движения всего плеча. В самом деле достаточно, соединить прямой линией положения

центров обоих этих сочленений, чтобы получить положение продольной оси плеча. Правда, этим способом мы еще не улавливаем поворотов плеча вокруг этой продольной оси, но такие повороты можно всегда определить, если мы будем знать движение продольной оси предплечья. Значит, нам нужно только еще одну точку в центре лучезапястного сочленения.

Центр сочленения никаким методом непосредственно снять невозможно; поэтому приходится довольствоваться приближенным способом. Мы помещаем наши лампочки на теле испытуемого над самыми центрами его сочленений, как можно ближе к ним. На рис. 66 изображено распределение лампочек при с'емке движения руки, производящей рубку зубилом. Лампочки находятся над плечевым, локтевым и лучезапястным сочленениями, над центром тяжести кисти и на центре тяжести молотка.

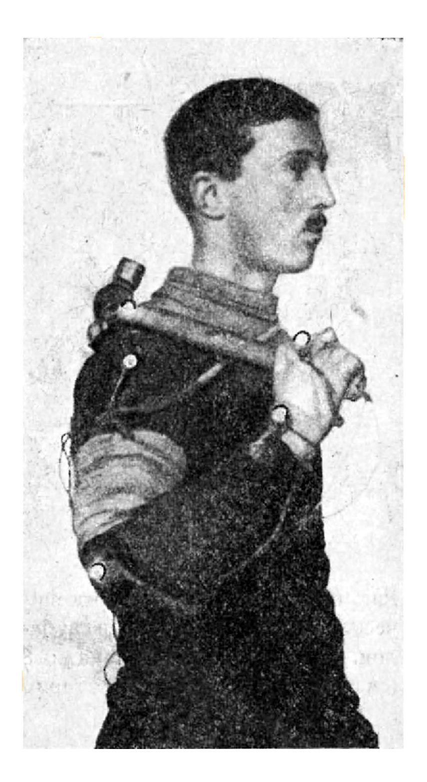


Рис. 66. Испытуемый с надетыми на его сочленения лампочками.

Мы одеваем испытуемого в темный костюм и ставим его на фоне темной стены. Перед ним помещаем фотографическую камеру с вертящимся затвором. Самая с'емка совершается следующим образом.

Сначала мы освещаем испытуемого сильными лампами и снимаем с него обыкновенную фотографию, так, чтобы получить некоторое наглядное представление о его местонахождении и позе. После этого мы оставляем в комнате только слабое освещение, зажигаем на испытуемом лампочки и пускаем в ход вертящийся затвор. Затем испытуемому предлагается производить те движения, которые требуются заснять, и когда он вработается, фотографическая камера открывается, и лампочки запечатлевают след своего движения на пластинке.

Нам необходимо обеспечить себе еще возможность точных измерений того движения, которое мы снимаем. Измерять нужно и пространство и время. Для этого служат следующие приспособления.

Вместе с испытуемым мы в начале с'емки фотографируем еще и рейку, разделенную на сантиметры. Так как, кроме того, расстояния от камеры до рейки и до испытуемого предварительно измеряются и записываются, то судить о натуральной величине заснятых движений очень легко.

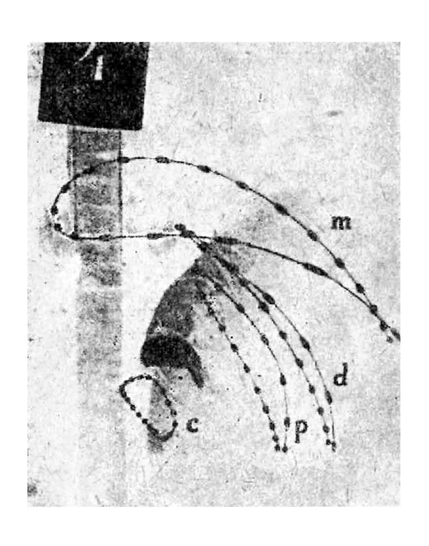


Рис. 67. Половинка стереоскопической циклограммы рубки зубилом. Удар, близкий к нормали 8 (см. лекцию 10). Снято автором в ЦИТ'е.

Мы должны еще знать, сколько изображений в секунду дает наша с'емка. Для этого достаточно знать, с какой быстротой вращается затвор. Скорость его вращения измеряется очень точным и простым звуковым способом и тоже записывается.

Наверно, не один из вас задавал себе вопрос: разве может фотография, дающая плоские изображения, воспроизвести натуральное движение, которое происходит в пространстве, т.-е. имеет кроме длины и ширины еще и глубину? Это так, но на то есть стереоскоп. Тут вскрывается еще один недочет кино: современное кино не допускает стереоскопической с'емки. Между тем такая с'емка при циклографическом методе, пользующемся обыкновенной фото-камерой, вполне возможна. Для этого достаточно вместо простого аппарата поместить позади затвора аппарат стереоскопический, с двумя об'ективами и с двумя пластинками. Тогда движение будет охвачено уже во всех подробностях.

В заключение покажу вам одну такую стереоскопическую циклограмму, снятую с рубки зубилом (рис. 67), а также общий вид лаборатории с установкой для цикло-с'емки (рис. 68). Способы чтения циклограмм и в частности разбор приведенной сейчас циклограммы мы рассмотрим уже в следующий раз.

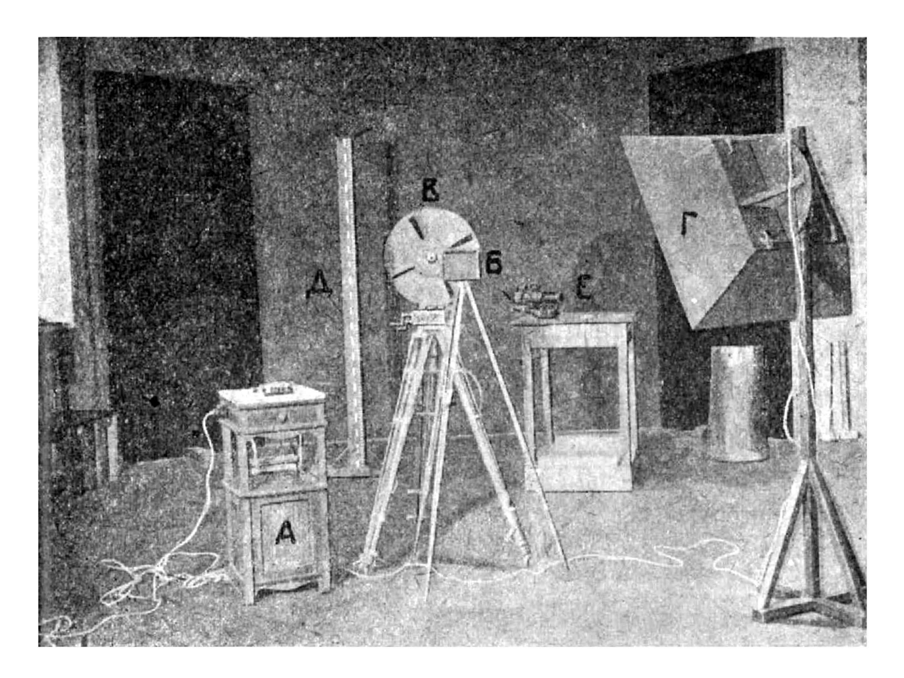


Рис. 68. Лабораторная установка циклографической с'емки (сооружено было автором в ЦИТ'е).

А—распределительный электрический столик, где сосредоточено все управление с'емки.

Б—фотографическая камера.

В—вертящийся затвор с 4 прорезами.

Г—осветитель в 1000 свечей.

Д—сантиметровый масштаб.

Е—верстак для испытуемого.

Лекция 9-я

Товарищи! Вот вам для начала циклограмма, изображающая ходьбу (рис. 69). Займемся сегодня чтением тех сведений, которые содержатся в циклограмме. Это будет вместе с тем небольшое упражнение для вас. Циклографический метод в своих

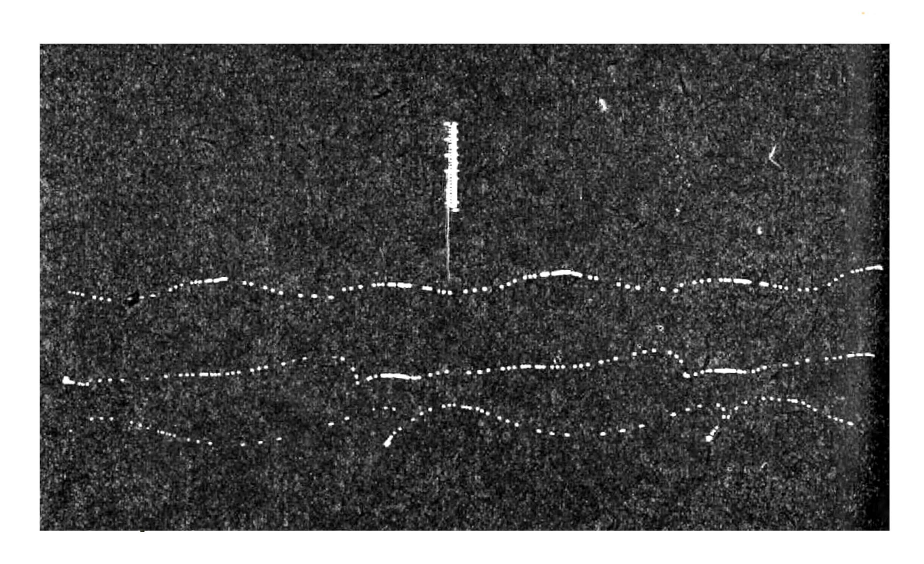


Рис. 69. Циклограмма ходьбы, снятая автором в ЦИТ'е. Засняты только: тазобедренное, коленное и голеностное сочленения правой ноги. Направление движения—слева направо, походка—церемониальный марш.

наипростейших формах так несложен и дешев, что, как я надеюсь, вы чисто практически заинтересуетесь им. Очень возможно, что вам и самим случится производить циклографические с'емки на производстве; поэтому желательно, чтобы вы

были циклографически грамотны, не делали тех ошибок, которые часто делаются, и имели понятие о том, какие богатства можно извлечь из циклограммы при умелом обращении с ней. На моей душе лежит еще и тот грех, что я до сих пор ничего популярного не написал по методике циклографии; поэтому существует мнение, что эта вещь очень сложная и мало дающая. Конечно, во всяком деле есть сложные стороны, и в научной работе позволительно ставить себе какие угодно мудреные задачи. Но в циклограммах на-ряду с этим мудреным есть немало азбучного, общедоступного, и такого, что может пригодиться на каждом шагу в инструкторской практике.

Обратимся к нашему снимку. На нем всего на все три пунктирные линии. Это следы движения трех лампочек. Я прикрепил эти лампочки над тазобедренным, коленным и голено-стопным сочленениями правой ноги. Движение лампочек есть результат того, что человек шел и нес лампочки на себе. Направление движения — слева направо. Если вы усвоили себе то, что говорилось в прошлой лекции, то об'ясните мне, почему следы движений этих лампочек имеют вид пунктиров?

Слушатели. Потому что у вас действовал затвор.

Лектор. Как же он действовал?

Слушатели. Он поворачивается, и то открывает об'ектив, то закрывает.

Лектор. Правильно; а пунктир получается потому, что лампочка действует на пластинку и оставляет на ней свой след только тогда, когда об'ектив открыт. Раз он закрыт, то лампочка для пластинки невидима; между тем она продолжает двигаться, и когда об'ектив откроется снова, то она оказывается уже вдалеке от того места, на котором она снималась в последний раз. Очевидно, если затвор убрать, то на снимке получится сплошная линия (рис. 70). Теперь об'ясните-ка, почему на нашей циклограмме (рис. 69) точки расположены тройками? Вы не догадываетесь? Не ищите каких-нибудь премудрых об'яснений; дело это очень простое. Представьте себе, что наш затвор имеет вид круга, у которого сделано всего три прореза, расположенных так, как на циферблате часов расположены цифры 9, 12 и 3. Вот такой затвор и даст вам тот самый эффект, который получился на нашем снимке. Если бы был и четвертый прорез, там, где на часах цифра 6, то точки следовали бы друг

за другом равномерно без пропусков; а так из каждых возможных четырех на самом деле пропускается одна точка. Зачем это сделано, вы увидите дальше.

Вы понимаете, что можно располагать прорезы на диске как угодно; от этого будет меняться вид получаемого вами пунктира.

Какое бы расположение точек в пунктире мы ни применяли, всегда можно легко восстановить путь или траекторию движения каждой лампочки, если соединить все точки принадлежа-

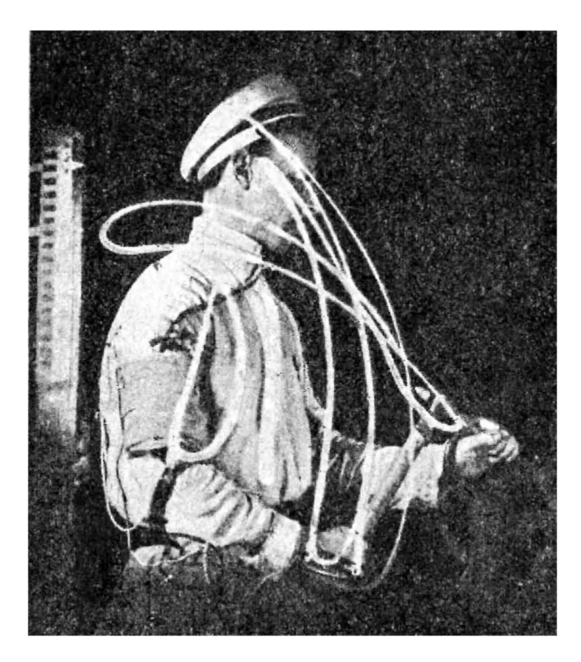


Рис. 70. Циклограмма рубки зубилом, снятая без вертящегося затвора. Вертикальный удар (см. лекцию 10). Снято автором в ЦИТ'е.

щего ей пунктира сплошною кривой. Так это и сделано, например, на циклограмме рис. 79. Теперь задайте себе вопрос: почему не все точки одного из пунктиров, скажем верхнего, тазобедренного (рис. 69) расположены на равных расстояниях, а напротив, одни тройки теснее, а другие более растянуты?

Слушатели. Неправильно вертелся затвор?

Лектор. Нет, затвор-то шел равномерно, дело не в том. Как вы полагаете, нет ли тут связи с различной скоростью

движения? Может быть, в одном случае тазобедренная лампочка двигалась быстрее, в другом медленнее?

Слушатели. Ну, конечно.

Лектор. Если вы с этим согласны, то ответьте, где же движение быстрее, а где медленнее?

Слушатели. Где точки теснее, там быстрее. (Споры в аудитории).

Лектор. Да так ли? Вот возьмем снимок удара молотком (рис. 67). Здесь это видно яснее. Затвор вращался здесь, как и во всех случаях, равномерно; скорость его в данном снимке была такова, что между каждыми двумя точками проходила ровно $^1/_{30}$ доля секунды. Вы видите, что в одном месте верхнего пунктира точки лежат теснее, чем в другом. На снимке имеется сантиметровый масштаб. Я возьму линейку и промеряю по этому масштабу расстояния между точками. В самом широком месте такое расстояние составляет 27 см., в самом тесном 3 см. Вот и сообразите: в обоих случаях движение точки из одного положения в соседнее продолжалось $^1/_{30}$ секунды. Между тем в первом случае она успела за это время пройти почти девять раз больше, чем во втором: Где же скорость движения больше?

Слушатели. Там, где она прошла больше.

Лектор. Несомненно так, и это общее правило: чем дальше друг от друга точки, тем движение было быстрее. А не можете ли примерно сказать, во сколько раз в первом случае движение было быстрее, чем во втором?

Слушатели. В девять раз.

Лектор. Да, приблизительно так. Можно для начала считать, что расстояния между соседними точками пропорционально скоростям их движения. Нельзя ли теперь подсчитать, хотя бы приближенно, и самые скорости движения точек?

Слушатели. Можно.

Лектор. Как же вы возьметесь за дело?

Слушатели. Надо знать скорость в одном месте. Нужно сравнить.

Лектор. А мне кажется, ничего не надо знать; все уже содержится в самой циклограмме. Ну, подумайте, за $^1/_{30}$ секунды точка прошла 27 см.; значит, в секунду она пройдет сколько? Больше или меньше?

Слушатели. В 30 раз больше.

Лектор. Сколько же это составит?

Слушатели. 810 см.

Лектор. Вот мы и подсчитали скорость. Она составляет в этом месте около 8 метров в секунду. Сейчас же сформулируем общее правило приблизительного подсчета скоростей по циклограммам. Для того, чтобы определить скорость движения в данном месте, надо измерить по масштабу, имеющемуся на снимке, расстояние между двумя соседними точками циклограммы и разделить эту величину на промежуток времени, протекающий между двумя последовательными точками. Конечно, масштаб должен быть помещен для этой цели на том же расстоянии от аппарата, как и снимаемый движущийся орган.

Этот способ определения скорости не слишком точен, хоть и вполне достаточен для практики. Описание более точных способов вы найдете в моей статье «Исследования по биомеханике удара» в сборнике ЦИТ'а за 1923 год. Я думаю, что эти точные способы вам и не понадобятся. Прибавлю кстати, что определять скорость движения по кино-снимку—очень хлопотливая и неточная вещь, а циклограмма дает ее почти сразу.

Вот вам маленький практический вывод из сказанного. Сила удара молотка зависит от его кинетической энергии или живой силы. А кинетическая энергия есть произведение массы тела на половину квадрата его скорости. Масса тела равна его же весу в граммах, деленному на 981. Теперь, если мы знаем вес молотка и его скорость в мгновение удара, то мы можем легко подсчитать живую силу удара. Например, если молоток (точнее его стальная часть) весит 600 гр., а скорость его перед ударом равна 7 метрам в секунду, то живая сила удара будет равна $1^1/_2$ килограммо-метрам. Следовательно, зная вес молотка, вы можете по циклограмме определить силу удара, т.-е. иметь суждение о его производительности.

Из циклограммы очень легко вычитывается еще одна вещь. Подумайте, что происходит, когда затвор открывает об'ектив? В этот момент, очевидно, все лампочки, сколько бы их ни было, дают свои изображения на пластинке в виде точек; если лампочек было 5, то и точек получится сразу 5, и т. д. В следующее мгновение, когда снова откроется затвор, все точки окажутся в новых местах и дадут 5 новых изображений. Когда в результате с'емки получено 5 разных пунктиров, то очевидно, каждой точке одного из пунктиров соответствует по одной точке в каждом из остальных пунктиров. Понятно также, что количе-

ство точек в каждом из пунктиров должно быть одно и то же. Если так, то подыщем каким-нибудь способом соответственные точки (т.-е. одновременно заснятые точки) в каждом из пунктиров. Если такие точки в двух соседних пунктирах соединить прямой линией, то конечно, эта линия изобразит собою положение оси того звена, на концах которого сидели данные две лампочки. Таким же образом мы можем начертить и положение всех остальных снятых нами звеньев в тот же момент. Мы получим не что иное, как схему положения, которое в данный момент занимала снимаемая рука или нога. Тем же путем можно восстановить по циклограмме и все остальные, последовательно занимавшиеся положения. Вот мы и вернулись от невыразительной на первый взгляд циклограммы к тому самому, что дает нам кино. Имея в руках такую серию последовательных положений, мы можем разбираться в движении не хуже, чем сделали бы это по кино-ленте. На рис. 76 изображена обработанная этим способом циклограмма удара. Для большей ясности ее последовательные положения слегка обработаны в виде рисунка. Выразительность ее не оставляет ничего желать. На рис. 71 такого же рода циклограмма обработана в виде кино-ленты. Такая лента была изготовлена мною с моими товарищами и воспроизводила в виде схемы из палочек движения рубки и удара молотобойца.

Итак, мы уже научились определять по циклограмме, во-первых, путь движения каждой части тела, его размеры и форму; во-вторых, скорость дви-

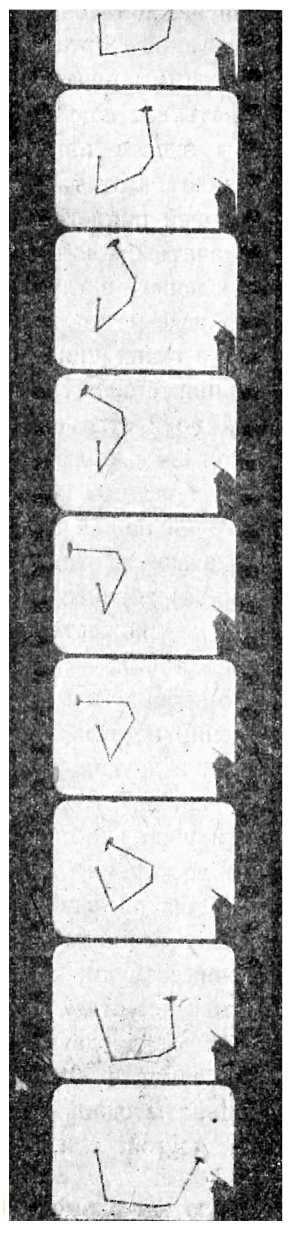


Рис. 71. Отрывок кино-ленты, изображающей рубку зубилом в виде оживших схем. Лента изготовлена по циклограммам.

жения каждой точки, и в-третьих последовательные положения, какие данный орган занимал в пространстве. Чтобы узнать из циклограммы нечто большее, мне надо предварительно инструктировать вас еще кое в чем.

Вы знаете из уроков черчения, что называется системой координат. Вот такую систему координат мы используем теперь и в нашей циклограмме. Давайте горизонтальные направления обозначать буквой X, а вертикальные буквой Y. От третьего направления—в глубину снимка—мы пока отвлечемся, так как оно определяется только из стереоскопических снимков, а обработка таких снимков вообще гораздо сложнее и требует специальной аппаратуры. Интересующихся отсылаю к уже упомянутой моей статье.

Примем две любые прямые линии, вертикальную и горизонтальную, за оси координат, и будем измерять расстояние каждой точки нашей циклограммы порознь от той и от другой оси. Для каждой световой точки мы получим таким путем две координаты: абсциссу X и ординату Y. Изучение этих координат даст нам множество новых материалов для ознакомления с движением точки.

Во-первых, нам может быть интересно узнать что-нибудь о движении не тех точек, которые сами себя засняли на пластинке, а других, промежуточных точек. Если, например, интересно знать, что происходит с серединой плечевой кости, то мы можем узнать об этом непосредственно из циклограммы. Для этого достаточно соединить прямой линией соответствующие положения плечевой и локтевой лампочки, и полученную линию разделить пополам. Но часто нам бывают нужны другие промежуточные точки; как быть с ними? С ними поступают очень просто. Допустим, что интересующая нас точка лежит на одной прямой между двумя заснятыми лампочками и делит расстояние между ними в определенном отношении, скажем $n:m$. Пусть координаты одной из заснятых точек равны X и Y, а координаты другой x и y. Тогда координаты промежуточной точки, которую мы разыскиваем, будут равны $\frac{mX+nx}{m+n}$ и $\frac{mY+ny}{m+n}$

Как видите, ничего хитрого тут нет.

Этого рода подсчет мог бы, например, пригодиться нам при отыскании положений центров тяжести звеньев, которые как

раз лежат на прямых, соединяющих центры сочленений. Как вы помните, у длинных звеньев они делят эти линии в отношении 4 : 5. Поэтому во всех случаях, если координаты верхнего (ближайшего к туловищу) сочленения суть X и Y, а координаты нижнего (удаленного от туловища) сочленения, ограничивающего то же звено, равны x и y, то координаты центра тяжести этого звена суть $\frac{4x+5X}{9}$ и $\frac{4y+5Y}{9}$.

Не буду распространяться здесь о том, как найти по циклограмме положения центров тяжести целых многозвенных систем. Раз мы нашли положения центров тяжести отдельных звеньев, и раз мы знаем соответственные веса этих звеньев (для этого я и приводил вам в одной из прошлых лекций таблицу весов), то найти общий центр тяжести для нескольких звеньев уже не так трудно. Общее правило звучит здесь так:

Если координаты центров тяжести нескольких звеньев суть сответственно x_1 x_2 x_3, и т. д., а массы (или веса) тех же звеньев равны соответственно m_1, m_2, m_3 и т. д., то координаты общего центра тяжести всех данных звеньев суть

$$\frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \ldots}{m_1 + m_2 + m_3 + \ldots}$$

Если кто заинтересуется этими измерениями ближе, то он найдет все необходимые числовые формулы в готовом виде в моей книге «Общая биомеханика».

Я думаю, вы понимаете сами, какое значение имеет точная осведомленность о движениях центров тяжести. Прежде всего, зная высоту, на которую поднят центр тяжести тела, вы тем самым определяете работу, затраченную на его поднятие. Это определение постоянно бывает нужно при сравнительной оценке различных типов рабочего движения, и мы еще вернемся к нему, когда будем изучать правильный и неправильный удар. Во-вторых, знакомство с центрами тяжести помогает нам уяснить себе усилия, которые имеют место при работе, и учет которых есть дело большой практической важности.

Вы, наверно, знаете из общей механики, что сила измеряется произведением массы на ускорение. Мы можем по упомянутой сейчас таблице определить массы частей человеческого тела.

Если мы сумеем по циклограмме определить их ускорения, то у нас будут в руках все материалы для учета усилий. Посмотрим, как бы нам определить ускорения.

Ускорение есть быстрота изменения скорости. Иными словами, ускорение измеряется величиной изменения скорости за единицу времени. Я не могу останавливаться здесь на точных приемах учета ускорения по циклограмме; но дам вам в руке первое грубое приближение. Для этого выучимся сперва чертить графики скоростей движения.

Мы уже определяли приблизительно общую скорость движения по траектории. Теперь надо выяснить вам, что называется слагающими скорости. Когда точка движется, то обе ее координаты, и X и Y, изменяются. Если мы ограничим свое рассмотрение только изменениями абсциссы (X), то из изменения этих абсцисс можно вывести, какова была в каждый момент слагающая скорость движения по абсциссе. Это вот что значит. Пусть наша точка двигалась наискось со скоростью 5 метров в секунду. При этом может оказаться, например, что ее абсцисса менялась со скоростью 3 м/с., а ордината—со скоростью 4 м/с. Если обе эти слагающие скорости сложить по правилу параллелограма скоростей, то в результате получится как раз первоначальная скорость движения по траектории, т.-е. 5 м/с. Следовательно, не идя дальше того приближения, которым мы уже пользовались при подсчете общей скорости, мы скажем так. Если затвор дает нам изображения 50 точек в секунду, а за одну такую пятидесятую долю секунды абсцисса точки изменилась на n сантиметров, то слагающая скорость точки по абсциссе составляет в этом месте 50 n см. Мы условимся считать, что если абсцисса возрастает, то скорость положительна; если она убывает—скорость отрицательна. То же самое рассуждение относится, конечно, и к слагающей скорости по ординате.

Теперь можно приступить к составлению графика слагающих скоростей. Постройте две взаимно перпендикулярные оси координат, по оси ординат отложите значения скоростей (например, в метрах в секунду), а по оси абсцисс отложите доли секунды. Такие оси имеются, например, на рис. 72. Затем для каждого мгновения времени откладывайте от оси абсцисс перпендикулярно к ней обнаруженные в соответствующие мгновения значения скоростей; положительные скорости откладывайте кверху, отрицательные—вниз. Если вы соедините концы всех отложен-

ных отрезков кривою линией, то вы и получите тот самый график скоростей, которого мы добивались. Такой график скоростей центра тяжести молотка при рубке зубилом изображен на рис. 72. Сплошная кривая есть слагающая скорость движения вперед и назад, кривая, начерченная черточками—тоже для слагающей скорости по направлению вверх и вниз; наконец, пунктирная кривая—тоже для движения вправо и влево.

На что нам все эти графики? Что они дают нового? Как сейчас увидите, очень много нового. Через них мы прямым маршрутом движемся к определению усилий.

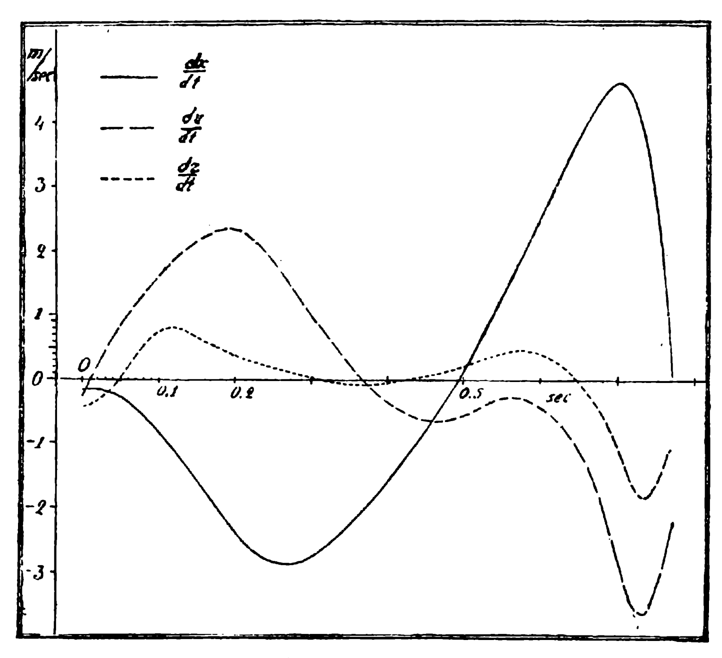


Рис. 72. График слагающих скоростей движения молотка при рубке зубилом.

—— скорость движения вперед-назад.

— — „ „ вверх-вниз.

------ „ „ вправо-влево.

Мы уже вспомнили, что ускорение—это скорость изменения скорости. Скорость уже имеется у нас в подсчитанном и вычерченном виде по всем координатам. Теперь можно рассуждать так. В некоторое мгновение скорость точки по абсциссам составляла два метра в секунду; спустя, скажем, 0,1 секунды, она, как это вытекает из графика, достигла уже $2^1/_2$ м/с. За 0,1 се-

кунды она успела измениться на $^1/_2$ метра; следовательно, при том же темпе изменения, т.-е. при том же ускорении она за целую секунду изменилась бы на целых 5 метров. Поэтому ускорение на взятом промежутке составляет в грубом приближении 5 м/с. Так же точно можно учесть ускорение и на всяком вообще промежутке. Только не путайтесь со знаками положительных и отрицательных ускорений. Ускорение положительно, если на графике скорости кривая идет вправо кверху; оно отрицательно, если кривая идет вправо вниз. Вы скоро приглядитесь к графикам скоростей и подметите, что чем кривая скоростей идет круче, тем значение ускорения больше.

Вот вы определили, что в данное мгновение слагающая ускорения по абсциссе равна, скажем, 10 м/с., а такая же слагающая по ординате равна, напр., 3 м/с. Как быть с этими цифрами дальше? А их надо об'единить опять-таки по правилу параллелограма. Стройте прямоугольник следующим образом: от изображения изучаемой точки на циклограмме, соответствующего данному моменту, отложите в каком-нибудь масштабе (например, 1 метр в секунду равняется 1 см.) сперва +10 метров в секунду по абсциссе—это получится 10 см. горизонтально вправо. Затем из той же точки и в том же масштабе отложите —3 метра в секунду по ординате—это выйдет 3 см. вертикально вниз. На обеих линиях постройте прямоугольник, проведите в нем от нашей начальной точки диагональ, нарисуйте ее пожирнее и на дальнем конце закончите стрелкой. Полученная диагональ изображает по величине и по направлению действительное ускорение изучаемой точки в данное мгновение: стрелка содержит в себе ровно столько сантиметров, сколько метров в секунду составляет полное ускорение точки. От ускорения уже не трудно перейти к силе. Ведь направление силы совпадает с направлением ускорения, а значение получится, если значение ускорения умножить на массу точки. Значит, и силу можно изображать стрелкой, выбрав для нее подходящий масштаб.

Все описанные расчеты могут показаться вам кропотливым и скучным делом. Зато как увлекательно интересно, когда из безжизненной циклограммы, похожей на пеструю сетку точек, вдруг начинают вырисовываться перед вами одна за другой все тайны проделанного движения! Ни одна кино-фильма не даст вам даже отдаленно того богатства сведений о движении, какое

дает умело обработанная циклограмма. Вы начинаете чувствовать, точно выучились читать на каком-то языке, который ранее был для вас непонятен; и удовольствие перечитывать на этом языке страницу за страницей так велико, что оставляет за собою все неприятности и всю скуку предварительных подсчетов.

Я покажу вам рисунок, на котором мною подсчитаны и нарисованы по циклограмме усилия в центрах тяжести при ударе молотком. Печатать этого рисунка я не буду, так как он печатался уже столько раз, что наверное всем надоел. Вы найдете его в книжке д-ра Кекчеева «Физиология труда».

Теперь мы вооружены некоторой циклографической грамотой и можем приступить к рассмотрению какого-нибудь трудового движения во всех подробностях. Но сегодня у нас мало времени, поэтому я отнесу такое рассмотрение на следующую лекцию, а сейчас познакомлю вас вкратце с разными областями применения метода циклограмм, чтобы вы могли убедиться, как широко и разнообразно можно его использовать. Кстати же не мешает немного отдохнуть, так как материал, сообщенный вам в сегодняшней лекции, поневоле был несколько утомителен.

Трудно и представить себе ту область трудовых движений, где циклографический метод нельзя было бы применить с успехом. В моей коллекции есть циклограммы самых разнообразных операций.

Однако, не всякое рабочее движение удобно бывает заснять на простой циклограмме. Возьмите, например, опиловку. При этой работе движение совершается взад и вперед в одном направлении, по одному и тому же месту. Если вы попробуете снять с такого движения циклограмму, то все точки лягут друг на друга и нельзя будет ровно ничего разобрать. Чтобы спасти положение, приходится прибегнуть к своеобразной уловке.

Для с'емки такого рода движений мы сконструировали в ЦИТ'е (с помощью инженера А. Ялового) особую камеру, у которой пластинка уже не была неподвижной, а могла перемещаться равномерным движением вдоль об'ектива. Если при неподвижной пластинке изображение прямого и обратного хода напильника попадает на одно и то же место, то при ползущей пластинке последняя успеет между прямым и обратным ходом напильника передвинуться на некоторое расстояние. В резуль-

тате, вместо смазанной прямой, получится растянутая четкая кривая. Рис. 73 изображает одну из снятых таким способом циклограмм опиловки.

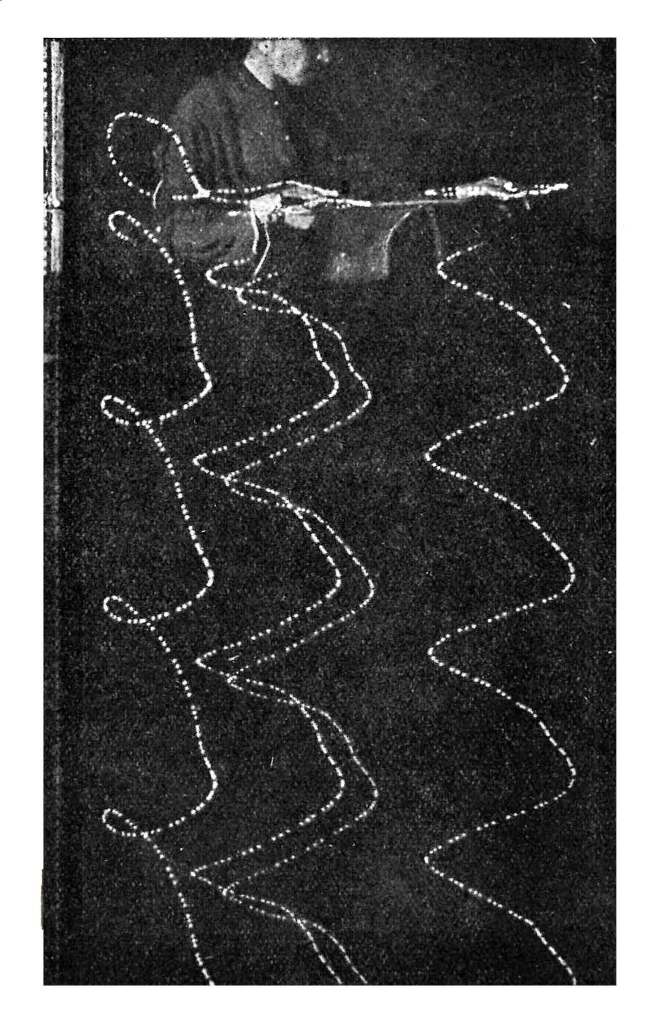


Рис. 73. Циклограмма опиловки, снятая с помощью камеры со скользящей кассетой. Слева направо следы: 1) правого локтя, 2) правого запястья, 3) правого указат. пальца, 4) левого большого пальца. Снято автором в ЦИТ'е.

Этот способ скользящей пластинки чрезвычайно богат возможностями еще по другой причине. На обыкновенной цикло-

грамме невозможно снять больше одного из серий повторяющихся движений зараз. В противном случае фотографии точек второго движения придутся на тех же местах, что и в первом движении, и выйдет неудобочитаемая мазня. Между тем, если такое ритмическое движение снимать на скользящей пластинке, то можно получить сколько угодно циклов движения один за другим. На нашем рисунке опиловки поместилось больше четырех циклов; а если пластинку заменить пленкой, сматывающейся с катушки, то количество циклов можно увеличивать до любого предела. Такая пленочная камера описана мною во втором сборнике «Вопросы психофизиологии, рефлексологии и гигиены труда».

На приведенном снимке можно видеть, как поразительно сходны между собой последовательные движения опытного работника. Я делал особенно тонкие измерения такого рода кривых и убедился, что разница продолжительности отдельных циклов обычно не превышает при опиловке одной, много двух сотых долей секунды.

Эта же камера со скользящей кассетой может пригодиться и в других случаях. К предмету нашего курса не относится применение циклографии к изучению болезней. Поэтому я не могу себе позволить дать рисунка; но с помощью этого метода я получил весьма интересные записи движений больных, дающие очень много для суждения об их болезни и для ее распознавания.

Расскажу вам, наконец, еще об одном случае применения метода циклограмм. При определении профессиональной пригодности часто приходится сталкиваться с вопросом, насколько хорошо развито у человека то пространственное чувство, о котором мы говорили в одной из прошлых лекций. Наличность этого чувства в сильнейшей степени требуется от летчиков, шоферов, рудокопов, лиц, которым приходится соразмерять расстояния или работать в темноте и т. д. В профессии металлистов есть также множество случаев, когда хорошо развитое пространственное чувство может сослужить службу и даже выручить человека из беды.

Пространственное чувство удобно исследовать, например, так. На полу чертится круг или треугольник, метра три-четыре шириною. Испытуемому предлагается несколько раз пройти по такой фигуре, чтобы ясно освоиться с ней. Тотчас же после этого ему надевают на глаза повязку и предлагают пройтись

по той же фигуре уже с завязанными глазами. Чем лучше развито у человека пространственное чувство, и чем менее оно лабильно (неустойчиво, подвержено нарушающим влияниям), тем правильней человек выполнит задание, тем незначительнее будут его отклонения от нарисованного пути при ходьбе с закрытыми глазами. Весь вопрос только в том, как регистрировать поведение испытуемого, как учитывать те отклонения, которые он обнаружит.

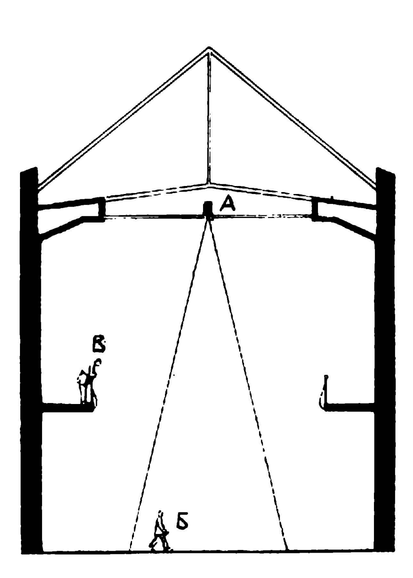


Рис. 74. Схема установки с'емки, применявшейся автором для испытания пространственного чувства в ЦИТ'е.

А—фотографический аппарат.
Б—испытуемый.
В—наблюдатель.

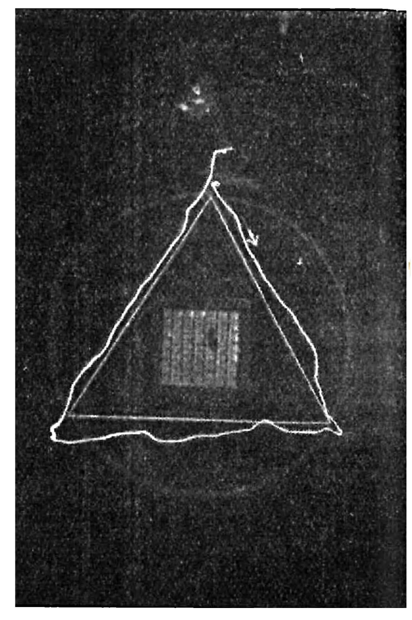


Рис. 75а. Снимок ходьбы с завязанными глазами по треугольнику, сделанный с высоты. Видны: треугольник, начерченный на полу и след лампочки, помещавшейся на темени испытуемого. Стрелка указывает направление движения. Хорошее исполнение задания.

Вот тут-то и приходит снова на помощь циклография. Опыт устанавливается так, как изображено на рисунке 74. Высоко под потолком устанавливается фотографический аппарат, направленный об'ективом прямо вниз. У испытуемого укрепляется одна единственная лампочка—на темени. После этого с высоты фотографируется начерченная на полу фигура, на глаза испытуе-

мому надвигается повязка, и он пускается в путь, в то время как аппарат сверху следит за движением его теменной лампочки и фотографирует ее путь. На рис. 75 а и б приведены два снимка с высоты, сделанные описанным способом. В обоих случаях задание было одно и то же: треугольник. Между тем вы видите, какая большая разница в выполнении получилась у обоих испытуемых: первый испытуемый был вполне здоровый и нормальный человек с хорошо развитым пространственным чувством; второй несколько времени тому назад перенес тиф, отразившийся на его нервной системе. Такая проба пространственного чувства чрезвычайно наглядно и точно позволяет произвести отбор лиц, непригодных к данной профессии. И эти опыты можно, конечно, разнообразить без конца, но я думаю, и уже сказанного до вольно, чтобы дать вам понятие о том, как широка область применения циклографического изучения движений.

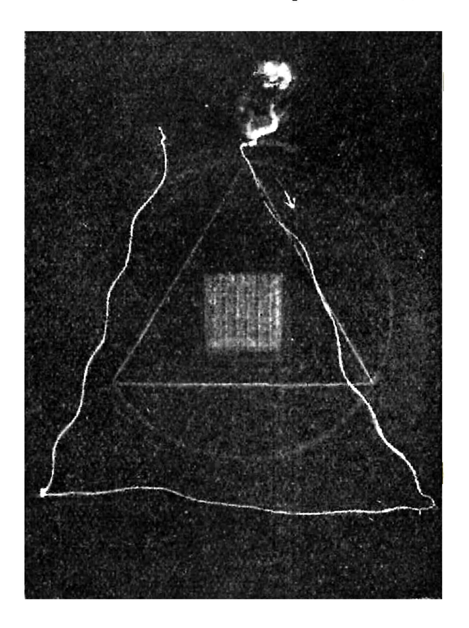


Рис. 75б. Тот же опыт, но с другим испытуемым, болезненное состояние которого хорошо отразилось в снимке. Светлые пятна наверху—испытуемый и исследователь, заснятые „с птичьего полета". Оба снимка сделаны автором совместно с д-ром Н. Озерецким.

Лекция 10-я

Товарищи! Я не располагаю пока что ни одним трудовым движением, которое было бы так же точно и подробно разработано в моей лаборатории, как движение удара. Причина заключается в том, что те исследования, которые я производил над трудовыми движениями в ЦИТ'е, заглохли после моего ухода оттуда, я же перешел на изучение движений совсем в другой области. Поэтому будет уместно, если в качестве образцового разбора движений я предложу вам сегодня именно удар; что касается других типов рабочих операций, то нам удобнее будет заняться ими в порядке вопросов и ответов, или же семинарского разбора в обстановке мастерской.

Начнем с удара молотком, производимого одной рукой. Это движение на вид очень не сложно и о нем как будто бы не приходится много говорить. На самом деле положение не таково. Движение замаха вместе с ударом занимает около секунды времени; на протяжении рабочего дня профессиональный рубщик успеет нанести верных 10 тысяч ударов. Если даже каждый удар при неумелой работе потребует от него ничтожной лишней затраты, то из десятка тысяч таких затрат составится уже внушительная сумма, которой можно и должно избежать.

Чтобы сразу заинтересовать вас вопросом о правильном ударе, я спрошу вас, как вы, собственно говоря, двигаете правой рукой при рубке зубилом, и как вас обучают этому движению? Расскажите или покажите.

Слушатель. Вот, доктор, мы все хотим вас спросить, как нужно ударять. У нас тут есть ребята, которые опытные рубщики, и они всегда локоть отводят наружу; а нам теперь несколько раз показывали рубить так, чтобы заносить прямо

вперед, а молоток западает назад. Так оно как-то не поймешь, как правильнее, вперед оно почему-то несподручно выходит.

Лектор. А вы как считали бы правильнее?

2-й слушатель. Которые в ЦИТ'е обучались ребята, так с них тоже требовали, чтобы рубить в одной плоскости, а так никогда силу не получишь. Если наотмашь, то как-то удобнее.

3-й слушатель. А вот, попробуй, поучись наотмашь и все пальцы себе отобьешь. Никогда такой меткости не будет. (Оживленные споры).

Лектор. Так этот вопрос для вас интересен?

Слушатели. Интересен.

Лектор. Ну вот и завязка для сегодняшней лекции. Разберем систематически, какой из ударов правильнее.

По удару я снял наверное много сотен циклограмм. Выбор у нас большой. Но интересно, что разнообразие типов удара обнаружилось совсем незначительное. В сущности я имел дело только с двумя главными формами; все остальные были разновидности. Сейчас я вам пред'явлю чертежи, которые изображают последовательные положения правой руки и молотка в двух типичных, случаях (рис. 76 и 77). Взгляните на них и попробуйте узнать, какой тип удара изображает каждый из них.

Слушатели (указывая на рис. 76). Вот этот—отмашной.

Лектор. Я вижу, что глаз у вас немножко попривык. У меня больше нет таких чертежей, а циклограмм достаточно. Поэтому расскажем для начала по порядку все, что выясняется из этих двух чертежей, чтобы потом без труда суметь узнать те же подробности на сырых циклограммах. Начнем с отводного удара (как мы будем называть удар рис. 76), потому что биомеханически он проще.

У вас должно остаться несомненное впечатление, что отводной удар построен проще, нежели удар вертикальный. Просто даже в рисунке первого легче разобраться, нежели в рисунке второго. На обоих рисунках замах изображен белыми полосками и молотками, удар—черными. Вы видите как на том, так и на другом рисунке, что в замашном движении молоток идет выше, чем в ударном движении. Это есть вещь неизбежная, которая будет иметь место при каждом движении молотка и при всяком типе удара; поэтому всегда траектория головки молотка будет иметь

ту же характерную форму, напоминающую рыбу; на всех дальнейших циклограммах вы ее хорошо разглядите.

Путь движения кисти ничем особенно не замечателен в обоих движениях; вы можете только заметить, что в отводном ударе он гораздо короче, чем в вертикальном. В отводном ударе он едва достигает до траектории молотка, тогда как в вертикальном пересекает ее и заходит еще далеко вверх. Может быть, вы заметите это яснее на рис. 79 и 80. В связи с этим же молоток в наибольшем замахе (который я буду называть заносом

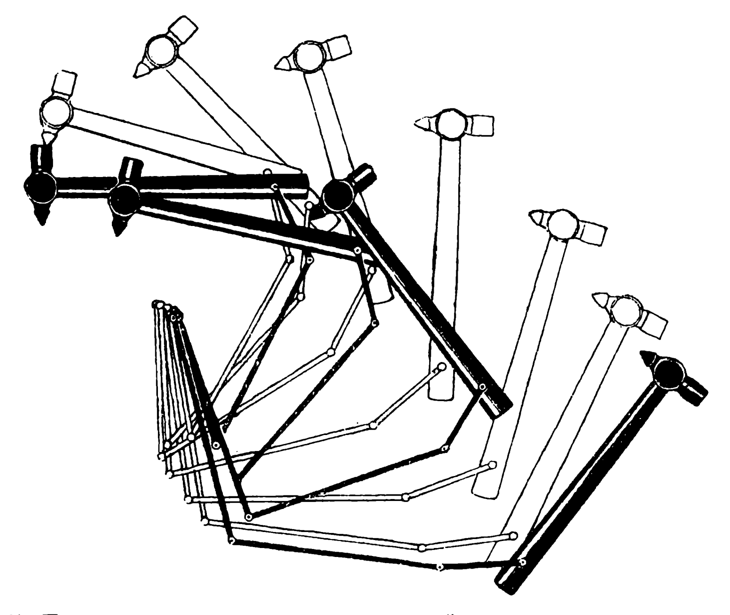


Рис. 76. Последовательные положения правой руки с молотком при рубке зубилом. Продольные оси плеча, предплечья и кисти изображены условно прямолинейными звеньями. Белые звенья и молотки—замах, черные—удар. Промежуток времени между смежными положениями—$^{1}/_{15}$ сек. Удар близок к нормали 8.

молотка) располагается почти горизонтально при отводном ударе, а при вертикальном запрокидывается далеко назад. Вы можете легко видеть, что при переходе от замаха к удару молоток должен совершать гораздо больший поворот при вертикальном ударе, чем при отводном.

Путь локтя отличается в обоих типах удара особенно резко. Всего лучше вы это усмотрите из подлинных циклограмм. Он так типичен, что по одному виду его на циклограмме вы всегда

без труда установите, какого типа был удар. Вот глядите. При отводном ударе путь локтя есть маленький овальчик, наклоненный назад; иными словами, локоть движется назад и кверху. Так как надплечье, как вы видите из рис. 76, смещается очень мало, то движение локтя кверху может быть в действительности только результатом движения наружу; то, что видно на рис. 76, изображает ведь на плоскости движение, в действительности

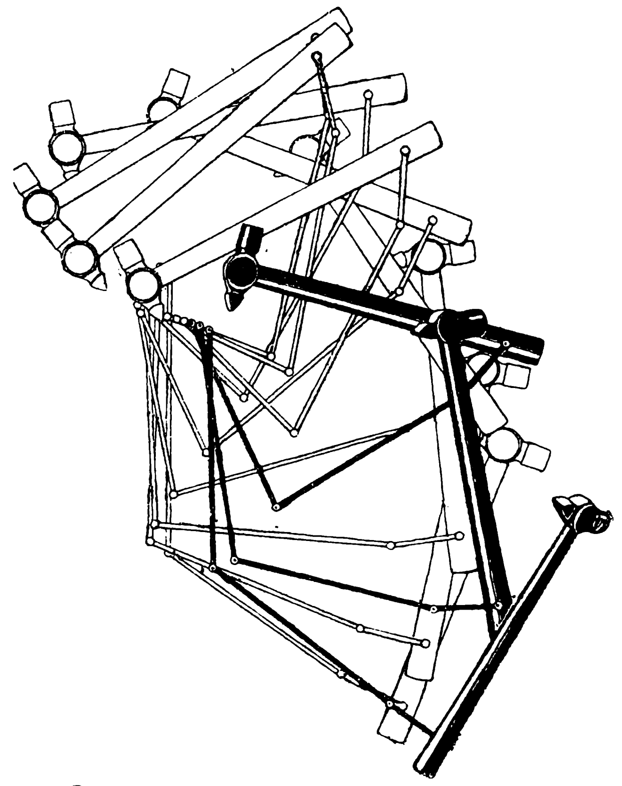


Рис. 77. Последовательные положения руки с молотком при неправильном (вертикальном) ударе. Обозначения те же, что и на рис. 76.

пространственное, т. е отвлекается от его глубины. Движение локтя при вертикальном ударе имеет не менее характерную форму рога, торчащую острием вверх и вперед. Размах локтя в этом втором случае гораздо больше, чем при отводном ударе. Наконец, смещения плеча, как видно опять-таки из тех же рисунков, тоже больше при вертикальном ударе, чем при отводном.

Итак, смещения всех частей при вертикальном ударе в общем больше. У одного только предмета размах меньше—и именно у молотка. При вертикальном ударе руками размахивается больше, а результирующее движение инструмента выходит меньше. Такова сводка первых наблюдений.

Выразим в цифрах то, что пока было высказано словами. Можете принять за правило такой подсчет. Конечная скорость бойка перед ударом при правильном движении должна составлять приблизительно столько метров в секунду, сколько дециметров имеет в длину размах бойка. Таким образом при размахе в 80 см. нормальная ударная скорость бойка будет 8 метров в секунду. В нашем примере длина траектории бойка вертикального удара (рис. 77) составляет 58 см., ударная скорость—6,4 метра в секунду; в отводном ударе (рис. 76) длина траектории 67 см., ударная скорость 8 метров в секунду. Следовательно, и длина пути бойка и ударная скорость (а следовательно и сила удара) в нашем примере вертикального удара процентов на 20 меньше, чем у отводного. Посмотрим, какой ценой куплена она в том и в другом случае.

Путь кисти руки у отводного удара составляет 53 см., а у вертикального 75 см. Путь локтя равен у первого 13 см., а у второго 23 см. Значит, меньший эффект удара при вертикальном способе требует, однако, процентов на 30—40 большего взмаха руки. Мы можем усмотреть еще одно обстоятельство. При ударе одной рукой обычно 0,9 всей ударной скорости получается за счет мышц, и только, примерно, 0,1 за счет падения молотка с высоты. При рубке зубилом молоток поднимается очень невысоко; но уже раз он поднялся, надо суметь использовать вовсю ту работу, которую он может совершить, опускаясь обратно. Вот цифры, показывающие, как происходят поднимания при том и другом типе удара.

И там и здесь приходится поднять на некоторую высоту как молоток, так и центр тяжести руки. Так как под'ем молотка полностью используется при его обратном падении, а под'ем центра тяжести руки никак не используется, то, очевидно, выгоднее строить движение так, чтобы центр тяжести руки поднимался возможно меньше, а молоток в то же самое время—как можно больше. Так вот, в нашем примере центр тяжести руки поднимается при вертикальном ударе на 25 см., а молоток в то же время на 21 см. При отводном ударе центр тяжести

руки поднимается на 18 см., а молоток на 27 см. В первом случае проигрыш на 4 см., а во втором выигрыш на 9 см. Все это уже дает некоторые ориентировочные данные.

Перейдем к скоростям. И здесь принцип рассуждения остается тем же: цель удара состоит в достижении известной скорости молотка; все остальное суть вспомогательные приспособления, которые надо конструировать как можно экономнее. Скажем так: все то, что непосредственно не необходимо для придания молотку скорости—то вредно. С этой точки зрения и размахи и скорости движения руки должны быть как можно меньше, так как непосредственной пользы они не приносят. Размах и ударная скорость молотка должны быть как можно больше, а замашная скорость молотка опять-таки не должна быть большой, так как и от нее непосредственной пользы нет. Вот и пересмотрим с этой точки зрения скорости обоих типов.

Взгляните на рис. 78. Он изображает скорости движения при отводном ударе. Левая сторона есть замах, правая — удар. Смотрите сперва удар. Сплошная кривая есть скорость молотка. Пунктирные кривые — скорости сочленений руки. Как видите, даже самая большая из них более чем вдвое ниже ударной скорости молотка. В цифрах скорость кисти равна здесь 3,7 м/с., тогда как скорость молотка есть 8 м/с. Если посмотрите замах, то увидите, что и здесь скорости кисти всюду много ниже, чем скорости молотка. Да и сама замашная скорость молотка почти втрое меньше, чем ударная. Экономия здесь явственно соблюдена.

А вот соответствующие цифры для вертикального удара. Ударная скорость молотка—6,4 м/с., соответствующая скорость кисти—5,1 м/с. Кисть движется мало чем медленнее молотка; для чего это нужно, неизвестно. Гораздо меньшая скорость молотка, чем в отводном ударе, покупается ценой гораздо большей скорости кисти.

Возьмем другой отводной удар, поменьше (рис. 79), чтобы ударная скорость его подошла к таковой нашего образца вертикального удара. Мы получим такие отношения.

	Отводной удар.	Вертикальный удар.
Ударная скорость молотка . . .	6,3 м/с.	6,4 м/с.
Скорость замаха „ . . .	1,7 „	3,0 „
Наибольшая скорость кисти . .	2,6 „	5,1 „

То же самое соотношение, как оказывается, имеет место при всех сравнениях этих двух типов. Всегда при вертикальном ударе замечаются чрезмерные скорости во всех тех местах, где от них нет непосредственной пользы. Пробеги сочленений тоже оказываются при вертикальном ударе больше, чем это нужно.

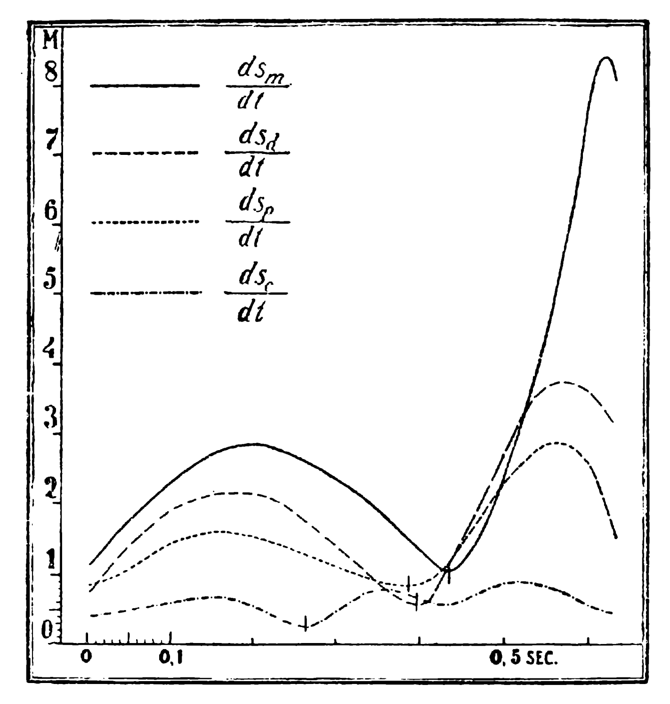


Рис. 78. Скорости движения частей правой руки с молотком при правильном ударе (рубке зубилом).

———	скорость	центра тяжести молотка.
— — — —	„	пальцев.
- - - - - - - - -	„	запястья.
— - — - —	„	локтя.

Деления внизу—десятые доли секунды; деления слева—метры в секунду. От 0 до 0,4 сек.—замах, от 0,4 до 0,6—удар.

Приостановим на время систематический разбор обоих ударов и займемся циклограммами. Мне хочется, чтобы вы непосредственно получили впечатление, что я не нарочно подобрал цифры и случаи. Начнем просмотр с вертикального удара.

На рис. 80 дан еще один типичный вертикальный удар. Теперь вы уже знаете, как читать циклограмму по первому

взгляду. Вы здесь видите уже хорошо знакомые вам черты. Таким же своеобразным рогом выглядит путь локтя; так же высоко заносится кисть—путь ее составляет здесь больше 50 см.; так же глубоко западает назад молоток. Путь молотка здесь опять мал (44 см.); мала и ударная скорость (5,1 м/с.). Вы хорошо помните, что скорость движения тем больше, чем реже расставлены точки на циклограмме. Так вот на рис. 80 видно, что ударная скорость молотка почти не больше наибольшей скорости кисти.

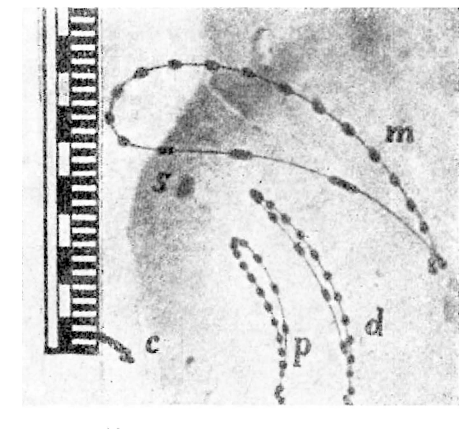


Рис. 79. Циклограмма отводного удара, близкого к нормали 6. Снято автором в ЦИТ'е.

Вот вам другой образчик вертикального удара (рис. 81). Может быть, вы узнаете и то лицо, которое здесь заснято. На этом снимке опять-таки все подробности вертикального удара вам знакомы; обратите внимание только на огромные хвосты, которые спускаются от каждой траектории в мгновение удара вниз, сантиметров на 30. Можете угадать, что это такое? Это отдача, отлет молотка после удара вниз. (Восклицания слушателей: верно, да, он и сейчас так ударяет)! Выясним, хорошо это или нет? Во-первых, мы имеем здесь лишнее движение, протяжение которого взад и вперед достигает 60 см.; это уже не экономно. Во-вторых, отскок молотка происходит тогда, когда удар пришелся по зубилу не вдоль его оси, а косвенно. В этих случаях не

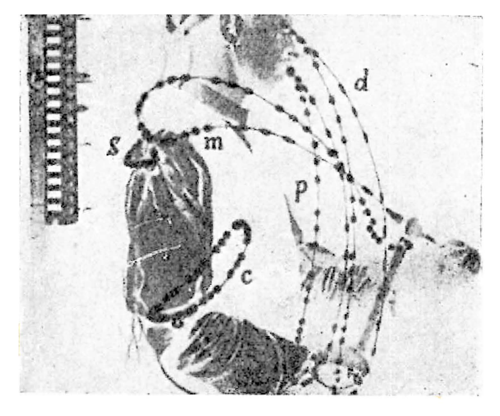


Рис. 80. Циклограмма вертикального удара. Снято автором в ЦИТ'е.

вся живая сила молотка используется для удара; значительная часть ее идет на отскок молотка; эта часть тем больше, чем значительней был наклон направления удара к оси зубилом. Вся эта часть, очевидно, при ударе теряется; мало того, ее еще приходится тормозить рукой. Поэтому я решительно советую вам избегать таких отскоков и косых ударов, как бы изящны они вам ни казались.

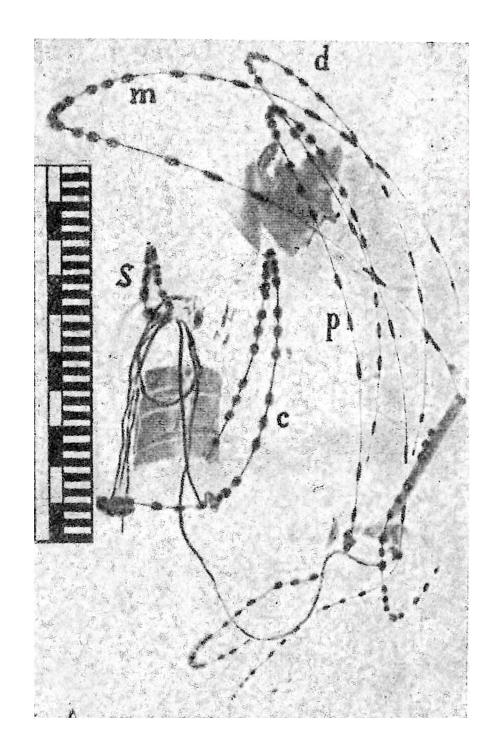


Рис. 81. Циклограмма рубки зубилом. Вертикальный удар с большой отдачей. Снято автором в ЦИТ'е.

Прибавлю к слову, что этот же самый испытуемый дал мне за год пред тем совершенно другую циклограмму, очень похожую на отводной удар. За этот год он, повидимому, переучил себя по ЦИТ'овскому образцу, и без особой для себя пользы.

Вот вам совершенно замечательная циклограмма (рис. 82). Ее сразу даже не поймешь. Я заснял ее с одного, очевидно, особенно рьяного ученика, в ту пору, когда в ЦИТ'е особенно рьяно преподавался вертикальный удар. Разобраться в этой циклограмме вам помогут буквы: *m* — обозначает путь молотка, *d* и *p* — пути кисти, *c* — путь локтя. Последний таков же, как всегда.

Во-первых, вы видите здесь фантастически-глубокий занос. Впечатление такое, как будто человек собрался ударить себя самого по спине. Здесь путь кисти составляет 68 см., а путь молотка всего—39 см., т.-е. почти половину. Скорость кисти тоже очень значительная: наибольшая скорость кисти такова же, как и ударная скорость молотка. Но самое занятное в этой циклограмме не бросается в глаза сразу. Обратите внимание на то место траектории молотка, где он из замаха переходит

в удар, т.-е. на момент заноса. По всей циклограмме, как и в большинстве остальных, точки идут по три. В этом же месте между двумя тройками сидит одна единственная жирная точка. Что это значит? Ни более ни менее, как то, что молоток здесь остановился на время протекания целой тройки точек. Из очертаний пути кисти в соответствующее время видно, что кисть успевает пройти книзу добрых 15 см., в то время как молоток почти не движется.

Здесь скрывается еще одно лишнее движение, и притом гораздо более грозное, чем то, которое мы заметили при отскоке молотка от зубила вниз. Грозное оно потому, что наблюдается уже во всех вертикальных ударах без исключения.



Рис. 82. Циклограмма рубки зубилом. Вертикальный удар с преувеличенно-глубоким заносом молотка. Снято автором в ЦИТ‘е.

Ведь задача ударного движения—сообщить разгон бойку молотка. Ясно, что если какое-то движение руки совершается при вполне или почти неподвижном молотке, то это движение не приносит никакой пользы. Именно так произошло при ударе, заснятом на нашем рисунке 82; но, может быть, можно предположить, что виноват здесь не способ удара, а неумелость испытуемого? Оказывается, нет.

Пересмотрите все изображения вертикального удара, которые я вам показал, и вы заметите на всех них одно общее явление. Молоток начинает на своем ударном пути приобретать скорость, разгоняться, только тогда, когда ось его рукоятки установится по касательной к направлению движения, т.-е. когда молоток начнет двигаться вдоль самого себя. В своих статьях об ударе я приводил механические об’яснения этого явления; здесь не могу повторять их. Важно то, что оно проявляется, как закон, с неизменной правильностью.

Как вы видите, на всех наших циклограммах ударная часть пути молотка начинается почти горизонтально, только изредка с небольшим наклоном снизу вверх. Следовательно, по касательной молоток установится только тогда, когда рукоятка его будет почти горизонтальна. Если молоток был в заносе далеко завален назад, то вся часть его движения до тех пор, пока рукоятка не станет горизонтальной, пропадает без пользы. За это время он, оказывается, механически не может нагонять скорость. Это особенно откровенно выявилось на рис. 82: здесь он все время, пока рукоятка не станет горизонтальна, просто стоит. На других снимках он в том же месте движется, но всегда замедленно, и точки циклограммы в этом месте более скучены.

Вывод таков: весь кусок замаха, связанный с завалом молотка назад, и весь кусок ударного движения, возвращающий его обратно в разумное положение, представляет собою ненужную потерю времени и силы; механического результата они все равно не дают.

С этой точки зрения интересно сравнить последовательные положения руки с молотком при том и другом типе удара, как они выясняются на рис. 76 и 77. Оба рисунка подтверждают высказанные сейчас правила. Как помните, на обоих ударное движение изображено черным, движение замаха—светлым. Начало ударного движения определено по признаку, изложенному только что. В обоих рисунках промежуток времени между двумя последовательными положениями составляет $^1/_{15}$ секунды. Во-первых, хорошо видно, что при отводном ударе молоток не заносится далее, чем до горизонтального положения. Поэтому ударное движение может после замаха начаться сразу, с самого удаленного конца траектории. В противоположность этому рис. 77 (вертикальный удар) вызывает невольное впечатление, что лучше бы уж молоток в заносе стоял неподвижно, как он это и делает в рис. 82, чем бесполезно двигаться вперед, укорачивая этим и без того небольшую возможную для него длину ударного пути. В самом деле, на схеме рис. 77 ясно видно, как коротка деятельная часть его пути. Даже при очень большой силе, приложенной к молотку на этом протяжении, т.-е. при значительном ускорении, он не успеет на таком коротком пути наверстать большую скорость. Так обычно и получается.

Перейдем теперь к циклограммам, снятым с случаев отводного удара. Я уже показывал вам две таких (рис. 67 и 79); по

іедостатку места ограничусь еще только одной, изображающей іе сильный удар—около 4 метров в секунду (рис. 83). На всех грех циклограммах вы можете усмотреть общие им всем ха-)актерные черты. Перечислю их вкратце. Везде величина траек-гории молотка (она повсюду помечена буквой m) гораздо больше всех остальных траекторий. Везде траектории сочленений руки (как кистевых d и p, так и локтевого, c) наклонены назад, а не зверх и не вперед, как бывает при вертикальном ударе. Везде скорость всех этих сочленений много меньше ударной скорости молотка. В самом молотке всюду резкая разница между скоро-стями замаха и удара. Все движение производит впечатление чего-то сконцентрированного на одной основной цели — ударном конце движения молотка. Эта экономия скоростей, проявляющая себя в циклограмме малыми промежутками между двумя последовательными положениями, особенно картинно видна на схеме (рис. 76). Здесь велик один единственный промежуток, соответствующий предударному движению молотка. Он один вобрал в себя сравнительно большую скорость, и так и кажется, что все остальные части движения как можно больше с'экономлены в его пользу.

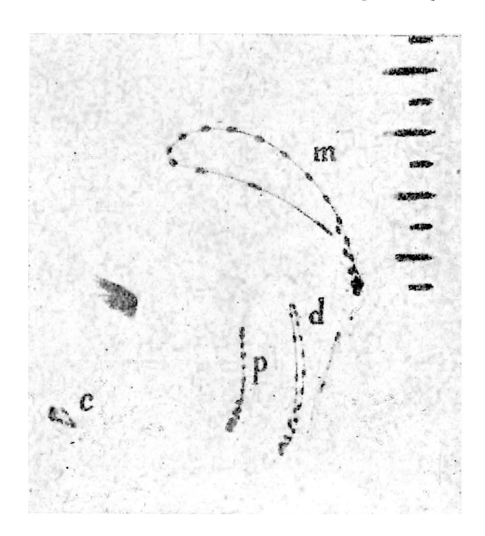


Рис. 83. Циклограмма рубки зубилом. Удар, приближающийся к нормали 4. Снято автором в ЦИТ'е.

Что же, неужели все вертикальные удары так безнадежно плохи? К сожалению, да. Неужели все отводные удары так безукоризненно хороши? Ну нет, этого никак нельзя сказать. Я вам открою один маленький секрет. Вертикальные удары я вам показывал всякие, а из отводных отобрал только наилучшие, как это выяснилось в результате подробного изучения. Те три отводных удара, которые были вам сегодня показаны, суть три представителя того типа ударного движения, оказавшегося наилучшим, который представляет собою предложенную мной био-

механическую нормаль удара. Еще очень мало проку в том, чтобы критиковать и осуждать. Гораздо важнее предложить что-нибудь определенное, заведомо хорошее, к чему можно было бы стремиться при обучении. Вот таким утвердительным результатом наших работ по биомеханике удара и является выработанная нами, в свое время опубликованная, биомеханическая нормаль.

От ударных движений требуется в разных случаях разная сила удара. Так как известная сила удара есть в то же время его цель, то естественно распределять удары именно по их силе. А так как сила в свою очередь зависит, как мы видели, от ударной скорости, то мы и решили присвоить разным ударам в качестве ярлыков значения их ударных скоростей. Зависимость между ударной скоростью, весом бойка и живой силой удара определяется из следующей таблицы.

Скоростная группа.	Ударная скорость бойка.	Работа 1 удара (в кгр.-метрах веса).			
		Боек в 250 гр.	Боек в 400 гр.	Боек в 600 гр.	Боек в 780 гр.
2	2 м/с.	0,051	—	—	—
	3 »	0,114	0,183	—	—
4	4 »	0,204	0,327	—	—
	5 »	—	0,509	0,765	—
6	6 »	—	0,734	1,101	—
	7 »	—	—	1,500	1,950
8	8 »	—	—	1,958	2,545
	9 »	—	—	—	3,223

Как видно из этой таблицы, можно получить очень разнообразные значения живой силы удара, от $^1/_{20}$ кгр.-метра до 3-х слишком, комбинируя подходящим образом веса молотков и ударные скорости.

Теперь об'ясню, что значит первый столбик таблицы: скоростные группы. Описывать нормаль применительно ко всем возможным ударным скоростям было бы, конечно, немыслимо. Между

тем ясно, что при двух метрах в секунду движение построено иначе, нежели при восьми. Поэтому мы выбрали для описания в качестве нормалей четыре образцовых удара, долженствующие давать конечные ударные скорости соответственно в 2, 4, 6 и 8 метров в секунду. Все эти нормали получили соответственные номера: нормаль № 2, нормаль № 4 и т. д. Понятно это?

Рис. 67 есть движение, лучше всех подходящее под нормаль № 8 из числа всех заснятых мною ударов. Схема рис. 76 соответствует той же самой нормали. Рис. 79 близок к нормали № 6, и, наконец, рис. 83—к нормали № 4. Если вы разглядите их повнимательнее, то найдете в них и много знакомого и много такого, что виднее из рисунка, чем из какого угодно подробного описания.

Основная мысль всех нормалей—комбинированный бросок плечом и кистью. В меньших нормалях (№№ 2 и 4) на место плеча становится предплечье. В больших (№№ 6 и 8)—распределение ролей в общем таково, что главные ударные двигатели сосредоточены в плечевом и лучезапястном сочленениях, тогда как локтевое и пальцевые сочленения берут на себя по преимуществу заведывание установочными механизмами, т.-е. точностью движения и меткостью.

Замах совершается с помощью разгибания плеча. Это движение сперва ведет локоть почти назад, затем кверху. Оно совершается при помощи дельтовидной мышцы. Одновременно с этим происходит вращение плеча вокруг продольной оси наружу и умеренное сгибание локтя. В начале замаха слегка напрягаются отводящие мышцы кисти; мышцы, сгибающие пальцы, совершенно свободны в течение всего замаха. В течение замаха происходит еще легкая супинация кисти.

Начиная, примерно, с середины замаха, рука начинает упруго тормозить разлетевшийся назад молоток. Торможение осуществляется медленным включением разгибателя локтя и широкой мышцы спины; в самом конце замаха начинается напряжение приводящих мышц кисти.

В момент заноса или несколько раньше энергично включается большая грудная мышца и в то же время постепенно нарастает напряжение широкой спинной мышцы. В результате их совместного действия плечо начинает перемещаться сперва вперед (в направлении приведения), затем вперед и вниз, и, наконец, вниз и назад,—по линии чистого сгибания. Следует под-

черкнуть, что эти направления соответствуют наибольшей силе, какую могут проявить эти две мышцы. В то же самое время, благодаря совместному действию большой грудной и широкой спинной мышцы, происходит и вращение плеча вокруг продольной оси внутрь. В локтевом сочленении напрягается разгибатель локтя, а при очень больших размахах и сгибатель локтя. Наконец, тотчас же вслед за мгновением заноса включаются еще сгибатели трех последних пальцев (от среднего до мизинца).

Среди врагов отводного удара и пророков вертикальной премудрости господствует убеждение, что молоток при отводном ударе не заваливается назад только благодаря судорожному сжатию всех пальцев в кулак на высоте заноса. Это совершенно неверно. Сжатие пальцев в момент заноса всегда проявляет себя на циклограмме одним и тем же: острым углом, которым оканчивается в этих случаях назади траектория молотка, и малым расстоянием между замашным и ударным путем молотка. Всего этого ни в нормалях, ни в большинстве отводных ударов налицо нет, и каждый из вас, если он умеет наблюдать, заметит, что при отводном ударе пальцы его напрягаются ничуть не больше, чем при вертикальном.

Рис. 84. Занос руки и молотка по нормалям №№ 4, 6 и 8. Вид 1) сзади, 2) справа.

К концу удара, т.-е. к моменту наступления самой ответственной части движения, происходит следующее. Большая груд-

ная и широкая спинная мышцы уже произвели к этому времени своего рода артиллерийскую подготовку: они сообщили главным массам руки и ее центру тяжести основную начальную скорость. Теперь на фоне этой начальной скорости вмешивается в дело кисть.

Кисть делает резкий бросок, слагающийся из приведения и небольшой доли супинации. Это происходит за счет быстрого возбуждения приводящих мышц. В то же время скорость, приобретенная предплечьем тормозится с помощью сгибателя локтя. Наконец пальцы еще несколько усиливают свое сгибательное напряжение.

Интересно проследить чисто механически, что происходит в этот последний короткий (продолжительность его 5—8 сотых долей секунды) промежуток времени пред ударом. Рука имеет к этому времени некоторое количество движения, проще говоря, некоторый разгон. Теперь предстоит наилучшим образом использовать этот разгон. Вы понимаете, что живая сила плеча, предплечья и т. д. никакой непосредственной пользы удару не принесут. Для удара нужно одно: живая сила молотка, и только. И вот механический смысл всего, что происходит в последние мгновения перед ударом, и сводится к тому, чтобы всю живую силу, накопленную перед этим всеми звеньями руки, срочно переправить в молоток.

Как известно, работа и энергия уничтожиться не могут; они могут только переходить от одного тела к другому. Вследствие этого получается, что когда звенья руки начинают тормозить свой полет, то при правильном движении живая сила их передается молотку: они тормозятся, а молоток, наоборот, разгоняется. На всех циклограммах правильного удара, а также на многих из циклограмм неправильных, вы обнаружите то, что я сейчас рассказал. Тот самый последний период пред ударом, который выражается у молотка последним и решительным разлетом, у всех звеньев руки сопровождается резким замедлением. Кстати, такое замедление кисти выгодно тем, что заставляет молоток быстро повернуться в руке; а такой поворот гораздо лучше использует рабочие возможности молотка.

Воспользуемся случаем, чтобы сличить между собою мышечный инвентарь обоих типов удара. Мы видели, что при ударе по нормали наиболее ответственные моменты движения совершаются по линии наисильнейшего действия наиболее сильных

мышц руки. В противоположность этому при вертикальном ударе использование мышц гораздо менее полно. Движение локтя и плеча вперед при замахе совершается при нем за счет мелких мышц плеча (клювовидно-плечевой мышцы), и только очень малая часть дельтовидной мышцы может оказать при этом содействие. Ударное опускание плеча идет за счет сокращения большой грудной мышцы в гораздо менее выгодном направлении, чем это имело место в случае нормали. В результате меньшего использования работы мышц неизбежно получается более слабый удар.

Вы видели уже из предыдущего изложения, что преимущества нашей нормали не исчерпываются только тем, что при ней мышечный инвентарь более тяжеловесен. Сама конструкция всего движения оказывается механически наиболее удобной и наиболее выгодной; и главное ударение я бы сделал здесь именно на конструкции.

Я не буду в этом курсе излагать вам шаг за шагом подробности и цифры, характеризующие наши четыре нормали. Во-первых, они очень подробно описаны в статье моей под заглавием «Биомеханическая нормаль удара», помещенной в сборнике «Исследования ЦИТ'а» за 1924 год. Во-вторых, я вообще не люблю перегружать лекцию рецептами и цифрами, которые каждый из слушателей может гораздо удобнее и успешнее усвоить по книге. Скажу вам только по поводу первого мотива следующее. Если достанете названную сейчас статью, то смело пропустите первые две главы ее, которые могут отпугнуть вас математикой. Начните прямо с главы «Биомеханика горизонтального удара»; от этого места до конца изложение проведено вполне понятно и рассчитано именно на практиков, подобных вам.

Теперь окинем взглядом очень бегло то, с чем мы познакомились на протяжении этого курса. Я сказал бы, что надо поставить ударение на трех пунктах из числа тех, которые в нем содержались.

Во-первых, мы несколько освоились со строением, биомеханическими возможностями и свойствами человеческой машины. На это ушло у нас относительно наибольшее время. Это и понятно, так как достаточное знакомство с основными характеристиками машины позволяет в дальнейшем применить свои знания к всевозможным частным случаям.

Во-вторых, мы вкратце рассмотрели те методы, которые применяются сейчас к биомеханическому изучению движения, и на-

учились на примере бегло пользоваться одним из них. Боюсь, что у вас все же не хватит опыта и подготовки к тому, чтобы изучать движение самостоятельно; но по крайней мере вы получите некоторую общую грамотность в этом направлении, которая позволит вам критически относиться к предлагаемым учебным приемам и до некоторой степени анализировать их.

В-третьих, наконец, мы проследили более или менее тщательно одно трудовое движение и убедились, что оно представляет собою сложную и многогранную совокупность взаимодействий между мышцами, сочленениями, центрами тяжести и т. д. Мы успели немножко подметить и то, в какой тесной зависимости друг от друга находятся отдельные детали такого движения, и как изменение в одном месте неизбежно должно отозваться изменениями во всех остальных. Все это было сделано, поневоле, очень кратко, потому что нельзя рассчитывать в десяти лекциях сколько-нибудь исчерпать громадную область биомеханики; но, может быть, те немногочисленные указания, которые я мог успеть вам сделать, принесут вам какую-то пользу и сделают вас хоть и не инженерами человеческой машины, но во всяком случае ее умелыми машинистами.

СОДЕРЖАНИЕ: